



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Máster
CURSO 2016/2017

BUQUE LNG DE MEMBRANA DE 145.000 m³

Máster en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNA/O

Ismael Grandal Mouriz

TUTORAS/ES

Vicente Díaz Casas

FECHA

SEPTIEMBRE DE 2017

CUADERNO 12

En el presente cuaderno realizaremos el cálculo de equipos y servicios auxiliares del buque, tales como carga y descarga, lastre, contra incendios, amarre y fondeo...



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE MÁSTER
CURSO 2016/2017**

BUQUE LNG DE MEMBRANA DE 145.000 m³

Máster en Ingeniería Naval y Oceánica

CUADERNO 12

EQUIPOS Y SERVICIOS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

CURSO 2016-2017

PROYECTO NÚMERO: 17-32 P

TIPO DE BUQUE: Buque tanque LNG de membrana

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: DNV, SOLAS, MARPOL, CIG.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: gas natural licuado con capacidad para 145.000 m³.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 19,5 nudos a la velocidad de servicio, 85% MCR + 15% MM. 12.000 millas a la velocidad de servicio.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: los habituales en este tipo de buque.

PROPULSIÓN: Propulsión Diesel eléctrico. Dos líneas de ejes

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 35 tripulantes en camarotes individuales.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: Las habituales en este tipo de buque.

Ferrol, Abril de 2017

ALUMNO: D. Ismael Grandal Mouriz

ÍNDICE:

1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. EQUIPOS DE AMARRE Y FONDEO.....	6
2.1. NUMERAL DE EQUIPO.....	8
2.2. CÁLCULO DEL EQUIPO DE FONDEO.....	10
2.3. CÁLCULO DEL EQUIPO DE AMARRE.....	13
3. DISPOSITIVOS Y MEDIOS DE SALVAMENTO.....	14
4. SERVICIO DE SENTINAS.....	27
5. SERVICIO DE CONTRAINCENDIOS.....	28
6. SERVICIO DE LASTRE.....	29
7. BOMBAS DE CARGA Y DESCARGA.....	30
8. EQUIPOS PARA LA NAVEGACIÓN Y COMUNICACIONES.....	32
9. SISTEMA DE VENTILACIÓN EN CÁMARA DE MÁQUINAS.....	32
10. SERVICIO DE AIRE ACONDICIONADO.....	33
11. SERVICIO DE CONTROL DE LA PROPULSIÓN.....	34
12. EQUIPO DE FONDA Y HOTEL.....	35
13. EQUIPOS DE ELEVACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	39
14. SERVICIO SANITARIO.....	42
15. TRATAMIENTO DE BASURAS.....	49
16. BALANCE DE VAPOR.....	51
17. PLANTA DE RELICUEFACCIÓN.....	53
18. SISTEMAS PROPIOS DE ESTE TIPO DE BUQUE.....	54
19. BIBLIOGRAFÍA	

ANEXO I: PLANTA DE RELICUEFACCIÓN BUQUE JAMAL

1-INTRODUCCIÓN

A lo largo del presente cuaderno vamos a definir y a calcular los distintos sistemas auxiliares del buque, sus equipos y servicios.

Hemos de tener en cuenta que este trabajo es una fase preliminar del proyecto de un buque, con lo cual, algunos de los sistemas se calcularán brevemente y otros se describirán funcionalmente.

Para la elaboración de este cuaderno hemos tenido en cuenta la siguiente normativa:

- Reglamento SOLAS
- Código CIG
- Convenio MARPOL
- Reglamento DNV

2-EQUIPOS DE AMARRE Y FONDEO

2.1-NUMERAL DE EQUIPO

En este apartado calcularemos los distintos equipos y elementos necesarios para el correcto amarre y fondeo de nuestro buque.

Número de equipo

Lo calculamos mediante la siguiente expresión:

$$EN = \Delta^{2/3} + 2 \cdot H \cdot B + \frac{A}{10} = 6725$$

Donde:

- Δ : es el desplazamiento en toneladas sin apéndices correspondiente a la flotación en carga al calado de verano (117.658 t, cuaderno 9).

-B: manga de trazado (43,2 m.)

-H: altura efectiva en metros desde la línea de calado de verano, hasta la parte más alta de la superestructura, medida como:

$$H = a + \sum b = 43,442$$

Donde:

-a: distancia desde la línea de calado de verano hasta la cubierta superior (13,46 m.)

-b: altura de cada una de las superestructuras con una manga superior a B/4. (29,982 m.)

-A: área proyectada en m² por encima de la línea de calado de verano (5.699)

Del DNV Pt. 3 Ch. 3 Sec. 3 obtenemos la siguiente tabla:

ene

Equipment number	Equipment letter	Stockless bower anchors		Stud-link chain cables			Towline (guidance)		Mooring lines ¹⁾ (guidance)			
		Number	Mass per anchor kg	Total length m	Diameter and steel grade			Steel or fibre ropes		Steel or fibre ropes		
					NV K1 mm	NV K2 mm	NV K3 mm	Minimum length m	Minimum breaking strength kN	Number	Length of each m	Minimum breaking strength kN
910-979	v	2	2850	495	54	48	42	190	559	4	170	216
980-1059	w	2	3060	495	56	50	44	200	603	4	180	230
1060-1139	x	2	3300	495	58	50	46	200	647	4	180	250
1140-1219	y	2	3540	522.5	60	52	46	200	691	4	180	270
1220-1299	z	2	3780	522.5	62	54	48	200	738	4	180	284
1300-1389	A	2	4050	522.5	64	56	50	200	786	4	180	309
1390-1479	B	2	4320	550	66	58	50	200	836	4	180	324
1480-1569	C	2	4590	550	68	60	52	220	888	5	190	324
1570-1669	D	2	4890	550	70	62	54	220	941	5	190	333
1670-1789	E	2	5250	577.5	73	64	56	220	1024	5	190	353
1790-1929	F	2	5610	577.5	76	66	58	220	1109	5	190	378
1930-2079	G	2	6000	577.5	78	68	60	220	1168	5	190	402
2080-2229	H	2	6450	605	81	70	62	240	1259	5	200	422
2230-2379	I	2	6900	605	84	73	64	240	1356	5	200	451
2380-2529	J	2	7350	605	87	76	66	240	1453	5	200	480
2530-2699	K	2	7800	632.5	90	78	68	260	1471	6	200	480
2700-2869	L	2	8300	632.5	92	81	70	260	1471	6	200	490
2870-3039	M	2	8700	632.5	95	84	73	260	1471	6	200	500
3040-3209	N	2	9300	660	97	84	76	280	1471	6	200	520
3210-3399	O	2	9900	660	100	87	78	280	1471	6	200	554
3400-3599	P	2	10500	660	102	90	78	280	1471	6	200	588
3600-3799	Q	2	11100	687.5	105	92	81	300	1471	6	200	618
3800-3999	R	2	11700	687.5	107	95	84	300	1471	6	200	647
4000-4199	S	2	12300	687.5	111	97	87	300	1471	7	200	647
4200-4399	T	2	12900	715	114	100	87	300	1471	7	200	657
4400-4599	U	2	13500	715	117	102	90	300	1471	7	200	667
4600-4799	V	2	14100	715	120	105	92	300	1471	7	200	677
4800-4999	W	2	14700	742.5	122	107	95	300	1471	7	200	686
5000-5199	X	2	15400	742.5	124	111	97	300	1471	8	200	686
5200-5499	Y	2	16100	742.5	127	111	97	300	1471	8	200	696
5500-5799	Z	2	16900	742.5	130	114	100	300	1471	8	200	706
5800-6099	A*	2	17800	742.5	132	117	102	300	1471	8	200	706
6100-6499	B*	2	18800	742.5	137	120	107	300	1471	9	200	716
6500-6899	C*	2	20000	770		124	111	300	1471	9	200	726
6900-7399	D*	2	21500	770		127	114	300	1471	10	200	726
7400-7899	E*	2	23000	770		132	117	300	1471	11	200	726

Ancles y cadenas

Para nuestro Número de Equipo (6500-6899) tenemos:

<u>Número de anclas</u>	3 (1 de respeto)
<u>Peso del ancla</u>	20.000 kg
<u>Longitud de cadenas</u>	770 m.
<u>Número de largos</u>	$770/27.5 = 28$ (14 a cada banda)
<u>Diámetro de la cadena</u>	111 mm. (NV K3)

Cable de remolque

Como podemos ver en la tabla:

<u>Longitud total</u>	300 m.
<u>Carga de rotura</u>	1471 kN

Amarras

En la tabla se define:

<u>Número</u>	9
<u>Longitud</u>	200 m
<u>Carga de rotura</u>	726 kN

2.2-CÁLCULO DEL EQUIPO DE FONDEO

Molinete

Para el cálculos de las potencias del molinete, seguiremos las prescripciones dadas en el artículo técnico: "Normas prácticas para el diseño de molinetes de ancla", Juan Carral Couce y Luis Carral Couce; Revista Ingeniería Naval, mayo de 1999).

La potencia que debe ofrecer el molinete se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$P = \frac{0,87 \cdot (P_a + 0,02 \cdot d^2 \cdot L) \cdot v_s}{4500 \cdot \eta_m \cdot \eta_e} = 475,90 \text{ CV} = 349,92 \text{ kW}$$

Donde:

- P_a : peso del ancla en kg (20.000)
- d : diámetro de la cadena en mm (111)
- L : longitud de la cadena en m (385)
- v_s : velocidad de izado (10 m/min.)
- η_m : rendimiento del molinete (0,7)
- η_e : rendimiento del escobén (0,5-0,7)

En la potencia necesaria para zarpar el ancla del fondo, el motor debe vencer el poder de agarre de ésta. Es por ello que el motor deberá ser capaz de ejercer durante 2 minutos la potencia instantánea calculada mediante la siguiente expresión:

$$P = \frac{(2,1 \cdot P_a + 0,02 \cdot d^2 \cdot L) \cdot v_s}{4500 \cdot \eta_m \cdot \eta_e} = 651,77 \text{ CV} = 479,24 \text{ kW}$$

Donde:

- P_a : peso del ancla en kg (20.000)
- d : diámetro de la cadena en mm (111)
- L : longitud de la cadena en m (385)
- v_s : velocidad de izado (10 m/min.)
- η_m : rendimiento del molinete (0,7)
- η_e : rendimiento del escobén (0,5-0,7)

Caja de cadenas

El volumen de la caja de cadenas lo calculamos mediante la siguiente expresión:

$$V_{cc} = 0,082 \cdot d_c^2 \cdot L \cdot 10^{-4} = 38,89 \approx 39 \text{ m}^3$$

Donde:

d_c : diámetro de la cadena en mm (111)

L: longitud de la cadena en m (385)

El buque dispondrá de dos cajas de cadenas, cada una de aproximadamente m^3 . Ambas estarán situadas de forma simétrica con respecto a crujía. Deberá disponerse un doble fondo para decantar los lodos y un espacio en la parte superior que permita el acceso a la caja de cadenas. El diámetro de la gatera es 10 veces el diámetro de la cadena.

Diámetro del escobén

Se calcula mediante la expresión:

$$D_e = [(100 - d_c) \cdot 0,03867 + 7,5] \cdot d_c = 785,28 \approx 786 \text{ mm.}$$

Donde:

d_c : diámetro de la cadena en mm (111)

Cálculo del equipo de amarre

Para el cálculos de las potencias de las máquinas de amarre, seguiremos las prescripciones dadas en el artículo técnico: "Normas prácticas para el diseño de chigres de carga y maniobra", Juan Carral Couce y Luis Carral Couce; Revista Ingeniería Naval, junio de 1999).

El motor del chigre debe ser capaz de ejercer durante una hora en continuo la potencia siguiente:

$$P = \frac{0,23 \cdot T \cdot V_s}{\eta_t}$$

Donde:

P: potencia del chigre (CV)

T: tracción (t.)

η_t : rendimiento de la transmisión (0,65)

V_s : velocidad de izado (velocidad aconsejada, entre 20-30 m/min \rightarrow 25 m/min)

Amarre en proa

Para el amarre en la zona de proa tendremos los siguientes elementos:

- Ocho bitas dobles de acero soldado.
- Dos bitas triples de acero soldado.
- Seis guías de tipo universal con rodillos horizontales y verticales.
- Cinco escobenes de tipo Panamá.
- Cuatro rodillos giratorios de eje vertical para reenvío de los cables de amarre.

Instalaremos en el buque dos maquinillas dobles de tensión constante y una fuerza de 20 toneladas a 25 m/min.

$$P = \frac{0,23 \cdot T \cdot V_s}{\eta_t} = 176,923 \text{ CV} = 130,21 \text{ kW}$$

Amarre zona central

Para el amarre en la zona de proa tendremos los siguientes elementos:

- Diez bitas dobles de acero soldado.
- Cuatro guías de tipo universal con rodillos horizontales y verticales.
- Cuatro escobenes de tipo Panamá.
- Cuatro rodillos giratorios de eje vertical para reenvío de los cables de amarre.

Instalaremos en el buque dos maquinillas dobles de tensión constante y una fuerza de 10 toneladas a 25 m/min.

$$P = \frac{0,23 \cdot T \cdot V_s}{\eta_t} = 88,461 \text{ CV} = 65,11 \text{ kW}$$

Amarre popa

Para el amarre en la zona de proa tendremos los siguientes elementos:

- Ocho bitas dobles de acero soldado.
- Ocho guías de tipo universal con rodillos horizontales y verticales.
- Nueve escobenes de tipo Panamá.
- Cuatro rodillos giratorios de eje vertical para reenvío de los cables de amarre.

Instalaremos en el buque dos maquinillas dobles de tensión constante y una fuerza de 20 toneladas a 25 m/min.

$$P = \frac{0,23 \cdot T \cdot V_s}{\eta_t} = 176,923 \text{ CV} = 130,21 \text{ kW}$$

3-DISPOSITIVOS Y MEDIOS DE SALVAMENTO

Todo el equipo de salvamento está descrito en el Capítulo III del SOLAS.

Todos los equipos y dispositivos deberán contar con la aprobación de la Administración y cumplir satisfactoriamente las pruebas necesarias para comprobar que cumplen con lo establecido en el SOLAS y su correspondiente normativa. Estas pruebas podrán realizarse durante la fabricación y una vez instalado a bordo el equipo.

Embarcaciones de supervivencia

Por tanto, llevaremos a bordo una balsa salvavidas

De acuerdo con el Capítulo III, sección III, Regla 31:

-Botes salvavidas. Deben cumplir con lo prescrito en la sección 4.6 del Código Internacional de Dispositivos de Salvamento (IDS). Llevaremos un bote salvavidas a cada costado del buque, cada uno con capacidad para 40 personas.

-Bote de rescate. Como los botes salvavidas pueden cumplir la función de bote de rescate, según la sección 5.1 del IDS, los botes salvavidas que tenemos dispuestos cumplirán esta función. La tripulación del buque de rescate será de 3 personas, que deberán llevar su correspondiente traje de supervivencia.

-Balsas salvavidas. Se instalarán balsas salvavidas con capacidad para el 100% de la tripulación (35 personas). Situamos dos balsas a cada costado en la zona de habilitación sobre la cubierta principal de capacidad para 20 personas cada una y otras dos de 15 más a proa. Se verificará el manejo de las balsas por una sola persona. No requieren de ningún medio para arriarlas.

Por otro lado, el CIG nos exige:

4.1.1.1 Toda balsa salvavidas estará fabricada de modo que puesta a flote pueda resistir 30 días la exposición a la intemperie, sea cual fuere el estado de la mar.

4.1.1.2 La balsa salvavidas estará construida de tal manera que cuando se la deje caer al agua desde una altura de 18 m, tanto ella como su equipo sigan funcionando correctamente. Si la balsa va a ir estibada a una altura de más de 18 m por encima de la flotación de navegación marítima con calado mínimo, será de un tipo que haya superado una prueba de caída desde una altura por lo menos igual a la de estiba.

4.1.1.3 La balsa salvavidas, una vez a flote, podrá resistir saltos repetidos dados sobre ella desde una altura mínima de 4,5 m por encima de su piso, tanto con su toldo armado como sin armar.

4.1.1.4 La balsa salvavidas y sus accesorios estarán contruidos de manera que sea posible remolcarla a una velocidad de hasta 3 nudos en aguas tranquilas, cargada con su asignación completa de personas y equipo, y con una de sus anclas flotantes largada.

Por tanto, llevaremos un bote de caída libre por popa con capacidad para 40 personas (seleccionamos el modelo GES 30 de la marca Norsafe). Podemos ver sus características a continuación:

TECHNICAL DATA	
Length overall:	9,00 m
Height:	3,42 m
Beam	2,75 m
Capacity maximum	40 persons /
Weight boat with equipment	5.800 kg
Davit load with persons	9.100 kg
Max. Drop Height	25 m
Material	GRP
Engine type	Inboard Diesel

Dispositivos individuales de salvamento

Aros salvavidas (Capítulo III, Sección I, regla 7.1)

Se distribuirán de modo que estén fácilmente disponibles a ambas bandas del buque y, en la medida de lo posible, en todas las cubiertas expuestas que se extiendan hasta el costado del buque; habrá por lo menos uno en las proximidades de la popa; y estibados de modo que sea posible soltarlos rápidamente y no estarán sujetos de ningún modo por elementos de fijación permanente. A cada banda del buque habrá como mínimo un aro salvavidas provisto de una rabiza flotante que cumpla lo prescrito en el párrafo 2.1.4 del Código, de una longitud igual por lo menos al doble de la altura a la cual vaya estibado por encima de la flotación de navegación marítima con calado mínimo, o a 30 m, si este valor es superior. La mitad al menos del número total de aros salvavidas estarán provistos de luces de encendido automático; al menos dos de estos aros llevarán también señales fumígenas de funcionamiento automáticos y se podrán soltar rápidamente desde el puente de navegación; los aros salvavidas provistos de luces y los provistos de luces y de señales fumígenas irán distribuidos por igual a ambas bandas del buque y no así aquellos que están provistos de rabiza. En cada aro salvavidas se marcará con letras

mayúsculas del alfabeto romano el nombre del buque que lo lleve y su puerto de matrícula. El número mínimo de aros salvavidas con equipo de luces y señales fumígenas será de 14, repartidos a lo largo de la eslora del buque.

Chalecos salvavidas (Capítulo III, Sección I, regla 7.2)

Para cada una de las personas que vayan a bordo se proveerá un chaleco salvavidas (hay que tener chalecos para el 120 % de la tripulación) que cumpla con los prescrito en los párrafos 2.2.1 o 2.2.2 del Código IDS y además:

-un número suficiente de chalecos salvavidas para las personas encargadas de la guardia y para utilizarlos en los puestos de embarcaciones de supervivencia alejados. Los chalecos salvavidas destinados a las personas encargadas de la guardia se estibarán en el puente, la cámara de control de máquinas y cualquier otro puesto que tenga dotación de guardia.

Los chalecos salvavidas se colocarán de modo que sean fácilmente accesibles y su emplazamiento estará claramente indicado. Nosotros tendremos que llevar:

$$N^{\circ}\text{chalecos salvavidas} = N^{\circ}\text{tripulantes} (35) \cdot 1,2 = 42$$

Llevaremos 42 chalecos salvavidas más otros 5 para personal de guardia. En total, 47 chalecos salvavidas.

Trajes de inmersión y trajes de protección contra la intemperie (Capítulo III, Sección I, Regla 7.3)

Para cada una de las personas designadas como tripulantes del bote de rescate o como miembros de la cuadrilla encargada del sistema de evacuación marino se proveerá un traje de inmersión de talla adecuada que cumpla lo prescrito en la sección 2.3 del Código o un traje de protección contra la intemperie de talla adecuada que cumpla lo prescrito en la sección 2.4 del Código.

En cada bote salvavidas se llevará a bordo un traje para cada tripulante, como irán tres tripulantes para las operaciones de rescate, tendremos 3 trajes. Además se dispondrá de trajes de inmersión para toda la tripulación del buque. En total tendremos 38 trajes de supervivencia.

Aparatos lanzacabos

Se dispondrá de un aparato lanzacabos, de un alcance de 230 m. como mínimo, según lo establecido en la Regla III-B-18.

Dispositivos radioeléctricos de salvamento

Aparato radiotelefónico bidireccional de ondas métricas (Capítulo III, Sección I, Regla 6.2.1)

En todo buque de pasaje y en todo buque de carga de arqueo bruto igual o superior a 500 se proveerán por lo menos tres aparatos radiotelefónicos bidireccionales de ondas métricas.

Respondedores de radar (Capítulo III, Sección I, Regla 6.2.2)

Todo buque de pasaje y todo buque de carga de arqueo bruto igual o superior a 500 llevará por lo menos un respondedor de radar a cada banda. Los respondedores de radar irán estibados en lugares desde los que se puedan colocar rápidamente en cualquier embarcación de supervivencia que no sea la balsa o las balsas salvavidas prescritas en la regla 31.1.4.

Señales visuales

Bengalas para señales de socorro (Capítulo III, Sección I, Regla 6.3)

Se llevarán por lo menos 12 cohetes lanzabengalas con paracaídas que cumplan lo prescrito en la sección 3.1 del Código, estibados en el puente de navegación o cerca de éste.

4-SERVICIO DE SENTINAS

Este sistema se ocupa del drenaje de acumulaciones de líquidos debidas a fugas o inundaciones accidentales de los locales cerrados del buque, evitando así la formación de superficies libres descontroladas, muy peligrosas para la estabilidad del buque. Sus requerimientos vienen establecidos por el SOLAS. En el desarrollo del sistema de sentinas deberemos además cumplir los requerimientos de nuestra Sociedad de Clasificación DNV y los requisitos del convenio de MARPOL.

El servicio de sentinas consta de los siguientes elementos:

- Bombas de sentinas
- Separador de sentinas
- Pocetes de sentinas

Se instalará a bordo un eficiente sistema de achique que nos permita bombear y agotar el agua que pueda introducirse en cámara de máquinas, cámara de bombas y compartimiento del servomotor.

Las bombas de sentinas aspirarán del mar, de todos los pocetes de sentinas y de los espacios vacíos y descargarán al mar o al tanque de aguas aceitosas. El separador de sentinas aspirará del tanque de aguas aceitosas y del colector principal de sentinas y descargará al mar.

El separador de sentinas cumple con la resolución IMO MEPC 60(33) e instala un medidor de contenido de aceite con alarma. El objetivo de este equipo es separar el aceite del agua de sentinas dejando una proporción de aceite en el agua inferior a 15 ppm antes de descargar el agua al mar.

Diámetro del colector

El diámetro del colector de sentinas no debe ser inferior al diámetro de ninguna de las ramificaciones del mismo y se determina mediante la expresión dada por el SOLAS Capítulo II-1, Parte B, Regla 35-1:

$$d = 25 + 1,68 \cdot \sqrt{L \cdot (B + D)} = 255,0075 \approx 256 \text{ mm.}$$

Donde:

- d: diámetro interior del colector principal en mm.
- L: eslora entre perpendiculares (269,7 m.)
- B: manga de trazado (43,2 m.)
- D: puntal de trazado hasta la cubierta de cierre (26.3 m.)

Bombas de sentinas

El convenio SOLAS nos indica que para buques de carga se instalarán al menos dos bombas de sentinas. La capacidad de dichas bombas se calcula por aplicación directa del reglamento.

Las bombas de sentina que vamos a instalar en nuestro buque serán eléctricas y dispondrán de un interruptor accionado por un flotador que las ponga en funcionamiento cuando el nivel del agua en la sentina llega al umbral de activación.

Caudal de las bombas de sentinas

Una vez que tenemos el diámetro del colector, estimaremos un valor del caudal de las bombas. Según el SOLAS, se deben instalar como mínimo dos bombas conectadas al colector de achique del buque. Su capacidad vendrá dada por la velocidad a la que debe bombear agua el colector, la cual no debe ser inferior a 2 m/s.

Una vez que conocemos el diámetro de la tubería, podemos calcular el caudal de acuerdo con DNV Pt. 4 Ch. 6 Sec. 4 H203

203 Pumping unit capacity determined from pipe diameter given in 400 is specified in Table H1. The pump capacity Q in m^3 /hour may also be determined from the formula:

$$Q = \frac{5.75d^2}{10^3}$$

d = bore of bilge pipe in mm according to 401 or 402.

$$Q_b = 386,832 \approx 387 \text{ m}^3/\text{h}$$

Por tanto, cada una de las bombas tendrá una capacidad de 193,5 m^3 /h. Tendremos una tercera bomba en standby.

Potencia de las bombas de sentinas

La potencia de cada bomba la calculamos mediante la siguiente expresión:

$$P = \frac{Q_b \cdot \gamma \cdot H}{3600 \cdot 75 \cdot \eta} = 33,58 \text{ CV} \approx 24,71 \text{ kW}$$

Donde:

- Q_b : caudal de la bomba (193,5 m^3 /h.)
- γ : peso específico del fluido (1.025 kg/m^3)
- H : incremento de presión, en este caso se tomará la altura del puntal más un cierto margen por pérdidas en las tuberías (32 m.c.a.)
- η : rendimiento de todo el conjunto (bomba y accionamiento) (0,8).

5-SERVICIO CONTRA INCENDIOS

Las medidas a adoptar en el sistema contra incendios de acuerdo con lo dispuesto en la reglamentación, y como práctica habitual en el diseño de buques, se enfocan en dos direcciones:

-Medidas para la prevención de incendios de tipo pasivo: detectores, aislantes, etc.

-Medidas para la extinción de incendios de tipo activo: bombas, extintores portátiles, CO₂, etc.

Los objetivos de la lucha contraincendios son:

- Evitar que se produzcan incendios
- Reducir los peligros para la vida humana que presentar un incendio

- Reducir el riesgo de que incendio ocasione daños al buque, a su carga o al medioambiente
- Contener, controlar y eliminar el incendio en el compartimiento de origen
- Facilitar a la tripulación y acompañantes de la carga medios de evacuación adecuados y fácilmente accesibles.

En las medidas de tipo pasivo, es de obligado cumplimiento el disponer en espacios de tipo A (aquellos espacios con un especial riesgo de aparición de vapores inflamables), un sistema pasivo estructural consistente en mamparos recubiertos con un aislamiento tipo A 60, que tendrán que cumplir una doble función en caso de incendio:

- Evitar el paso de humos y/o llama a la cara no expuesta, mediante la estanqueidad del propio mamparo.
- La cara no expuesta al fuego no incrementará su temperatura en más de 200 °C durante 60 minutos.

Bombas contraincendios

SOLAS (Capítulo II-2)

Regla 10.2.1.3 Diámetro del colector contraincendios. El diámetro del colector y de las tuberías contraincendios será suficiente para la distribución eficaz del caudal máximo de agua requerido para dos bombas contraincendios funcionando simultáneamente, salvo cuando se trate de buques de carga, en cuyo caso bastará con que el diámetro sea suficiente para un caudal de agua de 140 m³/h.

Regla 10.2.1.5 Número y distribución de las bocas contraincendios. El número y distribución de las bocas contraincendios serán tales que por lo menos dos chorros de agua que no procedan de la misma boca contraincendios, uno de ellos lanzado por una manguera de una sola pieza, puedan alcanzar cualquier parte del buque normalmente accesible a los pasajeros o a la tripulación mientras el buque navega, y cualquier puntos de cualquier espacio de carga cuando éste se encuentre vacío, cualquier espacio de carga rodada o cualquier espacio para vehículos.

Regla 10.2.1.6 Presión de las bocas contraincendios. Cuando las dos bombas descarguen simultáneamente por las lanzas de manguera especificadas en el párrafo 2.3.3. y el caudal de agua especificado en el párrafo 2.1.3 descargue a través de cualquiera de las bocas contraincendios adyacentes, se mantendrán las siguiente presiones en todas las bocas contraincendios:

Buques de carga de arqueo bruto igual o superior a 6000 → 0,27 N/mm².

Regla 10.2.2 Bombas contraincendios. Las bombas sanitarias, las de lastre, las de sentina y las de servicios generales podrán aceptarse como bombas contraincendios siempre que no se utilicen normalmente para bombear hidrocarburos y que, si se destinan de vez en cuando a trasvasar o elevar combustible líquido, están provistas de los dispositivos de cambio apropiados.

Los buques de carga de arqueo bruto igual o superior a 1000 irán provistos de al menos dos bombas contraincendios. Se instalará una tercera de emergencia. Regla 10.2.2.3.2.1. El espacio en que se halle la bomba contraincendios no estará contiguo a los contornos de los espacios de categoría A para máquinas ni a los de los espacios en los que se encuentren las bombas contraincendios principales. Cuando esto no sea factible, el mamparo común entre los dos espacios estará aislado de conformidad con unas normas de protección estructural contra incendios equivalentes a las prescritas para los puestos de control.

Regla 10.2.2.4 Capacidad de las bombas contra incendios. Las bombas contra incendios prescritas deberán poder suministrar a la presión estipulada en el párrafo 2.1.6. el caudal de agua siguiente, para fines de extinción:

En los buques de carga, sin incluir las bombas de emergencia, el caudal de agua no será inferior a cuatro tercios del caudal que según la regla II – 1/21 debiera evacuar cada una de las bombas de sentina independientes de un buque de pasaje de las mismas dimensiones cuando se la utilizará en operaciones de achique, aunque en ningún buque de carga será necesario que la capacidad total exigida de las bombas contra incendios sea superior a 180 m³/h. Cada una de las bombas contra incendios (aparte de las bombas de emergencia) tendrá una capacidad no inferior al 80% de la capacidad total exigida dividida por el número mínimo de bombas contra incendios prescritas, y nunca inferior a 25 m³/h.

Además, en el apartado 11.2.2 del CIG, dice lo siguiente:

Los medios instalados serán tales que por lo menos dos chorros de agua puedan llegar a cualquier parte de la cubierta que quede en la zona de la carga, así como a las partes del sistema de contención de la carga y de las tapas de los tanques situadas por encima de la cubierta.

En conclusión:

La capacidad de las bombas contra incendios viene determinada según el SOLAS Capítulo II-2, Parte C, donde establece que en buques de carga, sin incluir las bombas de emergencia, el caudal de agua no será inferior a cuatro tercios del caudal de las bombas de sentinas

$$Q_{CI} = \frac{4}{3} \cdot Q_s = 516 \text{ m}^3/\text{h}$$

Donde:

Q_s: caudal de sentinas (387 m³/h)

Esto es un caudal mínimo, pero podría no ser suficiente. Vamos a realizar el cálculo para realizar un dimensionamiento más correcto.

Cálculo del caudal

Estudiaremos dos casos (en la zona de proa y en la cubierta puente – la más alta-)

Hemos instalado mangueras de 45 mm de diámetro y 20 metros de longitud. Se ha decidido una presión en punta de lanza de 7 bar.

Zona de proa

El caudal nominal necesario (debemos tener en cuenta la condición de más desfavorable, es decir, que las dos mangueras estén funcionando al mismo tiempo) en el colector es:

$$Q_N = k \cdot \sqrt{P} = 83 \cdot \sqrt{7} + 83 \cdot \sqrt{7} = 439,19 \text{ m}^3/\text{h}$$

Donde:

k: coeficiente dado por el fabricante (83)

P: presión en bar (7)

Ahora calculamos la sección. Tomaremos una velocidad de 6 m/s.

$$Q = S \cdot v \rightarrow S = \frac{Q}{v} = 0,020 \text{ m}^2$$

Donde:

S: sección del tubo (m²)

v: velocidad del fluido (6 m/s · 3600 s/h)

El diámetro del tubo será:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = 0,1596 \text{ m.} \rightarrow 160 \text{ mm.}$$

Tenemos, por tanto:

Zona de proa	
Velocidad (m/s)	6
Caudal (m ³ /h)	43 9,19
Sección (m ²)	0,0 2
Diámetro (mm)	16 0

Cubierta puente (BIES)

Tomaremos una presión en punta de lanza de 5 bar. Al menos 2 BIES en funcionamiento.

$$Q_N = k \cdot \sqrt{P} = 83 \cdot \sqrt{5} + 83 \cdot \sqrt{5} = 371,19 \text{ m}^3/\text{h}$$

Donde:

k: coeficiente dado por el fabricante (83)

P: presión en bar (5)

Ahora calculamos la sección. Tomaremos una velocidad de 6 m/s.

$$Q = S \cdot v \rightarrow S = \frac{Q}{v} = 0,017 \text{ m}^2$$

Donde:

S: sección del tubo (m²)

v: velocidad del fluido (6 m/s · 3600 s/h)

El diámetro del tubo será:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = 0,1471 \text{ m.} \rightarrow 150 \text{ mm.}$$

Tenemos, por tanto:

Cubierta puente (BIES)	
Velocidad (m/s)	6

Caudal (m ³ /h)	37 1,19
Sección (m ²)	0,0 17
Diámetro (mm)	15 0

El caudal nominal del colector principal es el mayor de los caudales calculados, por tanto, será 439,19 m³/h.

Pero debemos tener en cuenta que es menor que el mínimo exigido por SOLAS, con lo que el caudal nominal del colector principal será:

$$Q_N = 516 \text{ m}^3/\text{h}$$

Procedemos a calcular la sección del colector principal:

$$Q = S \cdot v \rightarrow S = \frac{Q}{v} = 0,0239 \text{ m}^2$$

Donde:

Q: caudal nominal colector principal (516 m³/h)

v: velocidad del fluido (6 m/s · 3600 s/h)

El diámetro del tubo será:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = 0,1744 \text{ m.} \rightarrow 175 \text{ mm.}$$

Tenemos, por tanto:

Colector principal	
Velocidad (m/s)	6
Caudal (m ³ /h)	51 6
Sección (m ²)	0,0 239
Diámetro (mm)	17 5

Cálculo del diámetro en la aspiración

El diámetro del tubo de aspiración se calcula para una velocidad de 1,8 m/s

$$Q = S \cdot v \rightarrow S = \frac{Q}{v} = 0,0796 \text{ m}^2$$

Donde:

Q: caudal nominal colector principal (516 m³/h)

v: velocidad del fluido (1,8 m/s · 3600 s/h)

El diámetro del tubo será:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = 0,318 \text{ m.} \rightarrow 320 \text{ mm.}$$

Cálculo del diámetro en la impulsión

El diámetro del tubo de impulsión se calcula para una velocidad de 2,5 m/s

$$Q = S \cdot v \rightarrow S = \frac{Q}{v} = 0,0573 \text{ m}^2$$

Donde:

Q: caudal nominal colector principal (516 m³/h)

v: velocidad del fluido (2,5 m/s · 3600 s/h)

El diámetro del tubo será:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = 0,2701 \text{ m.} \rightarrow 275 \text{ mm.}$$

Cálculo de pérdidas de carga

A la hora de calcular las pérdidas de carga se deben tener en cuenta las pérdidas de carga por fricción, y las pérdidas de carga manométrica, debido a la altura que debe alcanzar el fluido.

Pérdida de carga por fricción en tubos (fórmula de Hazen-Williams)

$$p = \frac{6,05 \cdot 10^5}{C^{1,85} \cdot d^{4,87}} \cdot L \cdot Q^{1,85}$$

Donde:

p: pérdida de carga en bar

Q: caudal que pasa por el tubo (l/min)

d: diámetro interior medio del tubo (mm.)

C: es una constante para el tipo y condición de tubo

L: longitud equivalente de tubo y accesorios (m.)

Variación de la presión estática

$$p = 0,098 \cdot h$$

Donde:

p: variación de la presión estática (bar)

h: distancia vertical entre los puntos (m.)

Realizaremos el cálculo de las pérdidas para las dos líneas que salen del colector y se escogerá la más desfavorable.

Escogemos acero al carbono como material de la tubería. Entrando en la siguiente tabla tenemos un valor C = 120

Tabla 22
Valores de C para diferentes tipos de tubo

Tipo de tubo	Valor de C
fundición gris	100
hierro dúctil	110
acero al carbono	120
acero galvanizado	120
cemento centrifugado	130
fundición gris revestida de cemento	130
acero inoxidable	140
cobre	140
fibra de vidrio reforzado	140

NOTA – Esta lista no es exhaustiva.

En la siguiente tabla podemos ver las longitudes equivalentes de los accesorios de las líneas. En nuestro caso, como la tubería es de acero al carbono, multiplicamos estos valores por un factor 1.

Tabla 23
Longitud equivalente de accesorios y válvulas

Accesorios y válvulas	Longitud equivalente de tubo recto de acero (C = 120) ^a										
	m										
	Diámetro nominal (mm)										
	20	25	32	40	50	65	80	100	150	200	250
Codo roscado 90° (normalizado)	0,76	0,77	1,0	1,2	1,5	1,9	2,4	3,0	4,3	5,7	7,4
90° Codo soldado (r/d = 1,5)	0,30	0,36	0,49	0,56	0,69	0,88	1,1	1,4	2,0	2,6	3,4
Codo roscado 45° (normalizado)	0,34	0,40	0,55	0,66	0,76	1,0	1,3	1,6	2,3	3,1	3,9
Te roscada normal o cruz (con cambio de sentido del flujo)	1,3	1,5	2,1	2,44	2,9	3,8	4,8	6,1	8,6	11,0	14,0
Válvula de compuerta - inmediatamente	-	-	-	-	0,38	0,51	0,63	0,81	1,1	1,5	2,0
Válvula de alarma o retención (con clapeta)	-	-	-	-	2,4	3,2	3,9	5,1	7,2	9,4	12,0
Válvula de alarma o retención (con seta)	-	-	-	-	12,0	19,0	19,7	25,0	35,0	47,0	62,0
Válvula de mariposa	-	-	-	-	2,2	2,9	3,6	4,6	6,4	8,60	9,9
Válvula de esfera	-	-	-	-	16,0	21,0	26,0	34,0	48,0	64,0	84,0

^a Estas longitudes equivalentes se pueden convertir, en su caso, para tubos con diferentes valores C multiplicando por los siguientes factores:

C	100	110	120	130	140
Factor	0,714	0,85	1,00	1,16	1,33

Zona de proa

Pérdidas de carga tubería tramo recto:

$$p = \frac{6,05 \cdot 10^5}{C^{1,85} \cdot d^{4,87}} \cdot L \cdot Q^{1,85}$$

Desglosaremos el cálculo en dos tramos (23,8 m.-hasta cubierta- en el colector principal, y 224 m. hasta proa por el tramo de proa).

$$PC(\text{tramo recto}) = PC_{\text{colector p.}} + PC_{\text{proa}} = 0,0026 + 0,0276 = 0,0302 \text{ bar}$$

Pérdidas de carga por altura:

$$PC(\text{manométrica}) = 0,098 \cdot h = 2,3324 \text{ bar}$$

Donde:

h: 23,8 m.

Pérdidas de carga por accesorios:

ZONA DE PROA					
	Nº	D (mm)	Leq	Leq total	PC
T roscada	16	150	8,6	137,6	0,0169
Codo roscado	18	150	2	36	0,0044
Válvula de esfera	2	150	48	96	0,0118
Válvula de retención	2	150	7,2	14,4	0,0018
					0,0349

En total, las pérdidas de carga:

$$PC = PC_{T.Recto} + PC_{Manométricas} + PC_{accesorios} = 2,4 \text{ bar}$$

Por tanto, la presión total necesaria será:

$$p = 7 + PC = 9,4 \text{ bar}$$

Cubierta puente (BIES)

Pérdidas de carga tubería tramo recto:

$$p = \frac{6,05 \cdot 10^5}{C^{1,85} \cdot d^{4,87}} \cdot L \cdot Q^{1,85}$$

Desglosaremos el cálculo en dos tramos (23,8 m.-hasta cubierta- en el colector principal, y 21,75 m. hasta la BIES por el de superestructura).

$$PC(\text{tramo recto}) = PC_{\text{colector p.}} + PC_{BIES} = 0,0026 + 0,0027 = 0,0053 \text{ bar}$$

Pérdidas de carga por altura:

$$PC(\text{manométrica}) = 0,098 \cdot h = 4,4639 \text{ bar}$$

Donde:

h: 45,55 m.

Pérdidas de carga por accesorios:

ZONA DE PROA					
	Nº	D (mm)	Leq	Leq total	PC
T roscada	16	150	8,6	137,6	0,0170
Codo roscado	18	150	2	36	0,0044
Válvula de esfera	2	150	48	96	0,0119
Válvula de retención	2	150	7,2	14,4	0,0018
					0,0351

En total, las pérdidas de carga:

$$PC = PC_{T.Recto} + PC_{Manométricas} + PC_{accesorios} = 4,5043 \text{ bar}$$

Por tanto, la presión total necesaria será:

$$p = 5 + PC = 9,51$$

La presión nominal de la bomba será ésta última, por ser más desfavorable.

Potencia de la bomba contraincendios

Instalaremos 4 bombas contraincendios de 130 m³/h. Esta capacidad es inferior a la máxima permitida por el SOLAS (180 m³/h).

$$P = \frac{Q_b \cdot \gamma \cdot H}{3600 \cdot 75 \cdot \eta} = 58,66 \text{ CV} \approx 43,18 \text{ kW}$$

Donde:

-Q_b: caudal de la bomba (130 m³/h.)

-γ: peso específico del fluido (1.025 kg/m³)

-H: incremento de presión, en este caso se tomará la altura del puntal más un cierto margen por pérdidas en las tuberías (95,1 m.c.a.)

-η: rendimiento de todo el conjunto (bomba y accionamiento) (0,8).

Bomba contraincendios de emergencia

Como dice en la Regla 4.3.3, los buques de carga deben estar provistos de un dispositivo auxiliar para el caso de que un incendio inutilizara todas las bombas del sistema contra incendios. Este dispositivo ha de ser una bomba fija de emergencia, de accionamiento independiente, con capacidad para suministrar los chorros de agua que se consideren suficientes, situada en una zona no susceptible de incendios, normalmente en la zona de proa, y en situación de tener presión positiva suficiente para su accionamiento.

La capacidad de esta bomba no será inferior al 40% de la capacidad total de las bombas contraincendios y, en ningún caso inferior a 25 m³/h.

A continuación calculamos el caudal:

$$Q_{BCIE} = 0,4 \cdot B_{CI} = 0,4 \cdot 516 = 206,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

La presión mínima es de 0,27 N/mm² (2,7 bar)

Si queremos disponer de esta presión en el punto más desfavorable (el puente), la bomba debe proporcionar 5,8 bar.

$$P = \frac{Q_b \cdot \gamma \cdot H}{3600 \cdot 75 \cdot \eta} = 56,81 \text{ CV} \approx 41,81 \text{ kW}$$

Donde:

- Q_b : caudal de la bomba (206,4 m³/h.)

- γ : peso específico del fluido (1.025 kg/m³)

- H : incremento de presión, en este caso se tomará la altura del puntal más un cierto margen por pérdidas en las tuberías (58 m.c.a.)

- η : rendimiento de todo el conjunto (bomba y accionamiento) (0,8).

Extintores portátiles

Los espacios de alojamiento y de servicio y los puestos de control estarán provistos de extintores portátiles

En la Regla 10 del SOLAS se dice que en los buques de arqueo bruto igual o superior a 1000, el número de extintores portátiles no será inferior a cinco. Como nuestro arqueo es superior a 1000, deberemos tener como mínimo 5 extintores portátiles.

No habrá extintores de incendios a base de anhídrido carbónico en los espacios de alojamiento. Tampoco deberán estar separados más de 15 metros En los puestos de control y demás espacios que contengan equipo eléctrico o electrónico o dispositivos necesarios para la seguridad del buque, se proveerán extintores cuyo agente extintor no sea conductor de la electricidad ni pueda dañar el equipo y los dispositivos.

En la habilitación colocaremos dos extintores por cada una de las 6 cubiertas, incluida la del puente. En la habilitación, por tanto, tendremos dispuestos un total de 12 extintores. En cámara de máquinas, se situarán uno a proa, otro a popa, y a babor y estribor por cada cubierta (4 en total), por lo que tendremos 16 extintores. El número total de extintores portátiles instalados es de 28.

Equipos contraincendios

Conexión internacional a tierra

Los buques de arqueo bruto igual a superior a 500 estarán provistos al menos de una conexión internacional a tierra que cumpla lo dispuesto en el Código de Sistemas de Seguridad contra Incendios

Accesorios contraincendios

En los buques de carga de arqueo bruto igual o superior a 1000 se proveerá de mangueras contraincendios a razón de una por cada 30 m del buque y una de respeto, pero en ningún caso el número será inferior a 5. El número no incluye las mangueras prescritas para las cámaras de máquinas o calderas. Los buques que transportan mercancías peligrosas dispondrán además, de otras tres mangueras y lanzas adicionales.

Como nuestra eslora es de 269,7 metros, tendremos 9 mangueras, más una de respeto, más 3 por transportar mercancías peligrosas, es decir, en total, 13 mangueras.

Equipos bombero

El código CIG (Capítulo 11, Regla 11.6) nos indica:

11.6.1 Todo buque que transporte productos inflamables llevará equipos de bombero en la proporción que a continuación se indica, ajustados a lo prescrito en la regla II-2/17 de las Enmiendas de 1983 al SOLAS:

Capacidad total de carga	Número de equipos
Igual o inferior a 5000 m ³	4
Superior a 5000 m ³	5

Llevaremos cinco equipos de bombero.

Además, se exige un aparato autónomo de aire cuya capacidad mínima es de 1200 litros de aire libre.

Medios de detección de incendios

El SOLAS (Capítulo II-2, Regla 7.5.5 y 9.2.4) dice que los espacios de alojamientos, de servicio y los puestos de control de los buques de carga estarán protegidos con un sistema fijo de detección de incendios, alarmas contra incendios y un sistema automático de rociadores que dependerán del método adoptado.

Habrà un sistema fijo de detección de incendios y de alarmas contra incendios instalado y dispuesto de forma que detecte la presencia de humo en todos los pasillos, escaleras y vías de evacuación que se encuentren situadas dentro del espacio de alojamientos.

Regla 2.3 se instalarán en el buque dos tipos de detectores:

- Detectores de calor, que comenzarán a funcionar antes de que la temperatura exceda los 78°C pero no hasta que haya excedido los 54°C.
- Detectores de humo, que comenzarán a funcionar antes de que la densidad del humo exceda el 12,5% del oscurecimiento por metro, pero no hasta que haya excedido del 2%.

Sistema de CO₂ en cámara de máquinas

El buque dispondrá de una instalación contra incendios por medio de CO₂ capaz de cubrir la cámara de máquinas y el local del servomotor.

La batería de botellas se dispondrá de modo de manera que pueda accionarse la salida de gas desde fuera de la cámara de máquinas.

Se dispondrá un dispositivo de descarga del tipo de inundación total y rápida, a través de una o varias botellas piloto, las cuales se accionarán localmente descargando el gas a alta presión a un dispositivo que a su vez abra el resto de las botellas. El sistema dispondrá de una alarma eléctrica que se accionará al abrir la caja donde van dispuestas las válvulas y disparos principales. Asimismo se dispondrá de medios para parar los ventiladores de cámara de máquinas cuando se descargue el CO₂.

La salida de gas a la zona de incendio, se pondrá de manifiesto mediante el accionamiento automático de las sirenas.

El SOLAS exige que la cantidad mínima de gas para liberar en cámara de máquinas será al menos el mayor de los siguientes volúmenes:

$$40\% V_{C.MÁQUINAS} = 20601,83 \cdot 0,4 = 8240,73$$

$$30\% V_{TANQUE CARGA MAYOR} = 43363,003 \cdot 0,3 = 13008,9$$

Los datos del volumen de cámara de máquinas y el del tanque de carga los sacamos de los cuadernos 2 y 4 respectivamente.

El volumen mínimo de CO₂ será, por tanto:

$$V_{CO_2} = 13.008,9 \text{ m}^3$$

A continuación calculamos el peso de gas:

$$P_{CO_2} = \frac{V_{CO_2}}{\text{Vol. específico}} = \frac{13008,9}{0,56} = 23.230,18 \text{ kg.}$$

Como cada botella lleva 50 kg, el número de botellas será:

$$N^{\circ} \text{ botellas } CO_2 = \frac{23230,18}{50} = 464,6 \approx 465 \text{ botellas}$$

Agua nebulizada en cámara de máquinas

Este sistema consiste en forzar el paso de agua a alta presión a través de unos atomizadores los cuales harán que esta se divida en multitud de gotas muy finas. Estas gotas son muy efectivas a la hora de extinguir fuegos, incluso aquellos provocados por aceites. Las gotas permanecen suspendidas en el aire de manera que o alteran la superficie aceitosa ni establecen una capa de agua sobre la que el combustible ardiente podría flotar. Además, esta clase de pulverización del agua, al cubrir tanta gran superficie respecto al fuego, ejerce un efecto refrigerante al evaporarse rápidamente. La gran concentración de gotas y su evaporación tiene el efecto de reducir el nivel local de oxígeno. El efecto refrigerante y la reducción de la concentración de oxígeno hacen que el fuego sea extinguido.

Hemos optado por el sistema Hi-fog debido a sus características:

- Un único fluido: agua
- Alta presión: 35 a 210 kg/cm²
- Cañerías especiales de acero inoxidable
- Diámetros pequeños
- Expansión de tipo "gaseosa"
- Tamaño de gota: 60 a 200 micrones
- Densidad de diseño entre 0.5 a 1.5 l/min/m² y 0.05 l/min/m³

Este sistema utiliza agua dulce a fin de evitar riesgo de corrosión en equipos y estructura.

Circuito contra incendios a base de espuma

El sistema fijo de extinción prescrito podrá ser cualquiera de los siguientes:

- "1. un sistema fijo de extinción de incendios por gas que cumpla lo dispuesto en el Código de Sistema de Seguridad contra Incendios.*
- 2. un sistema fijo de extinción de incendios a base de espuma de alta expansión que cumpla lo dispuesto en el Código de Sistemas de Seguridad contra Incendios.*
- 3. un sistema fijo de extinción de incendios por aspersión de agua a presión que cumpla lo dispuesto por el Código de Sistemas de Seguridad contra Incendios. "*

Hemos decidido instalar un sistema fijo de extinción de incendios a base de espuma. Según el SOLAS (Capítulo II-2 8.1.1)

"En los buques tanque de peso muerto igual o superior a 20000 toneladas se proveerá un sistema fijo en cubierta a base de espuma que cumpla lo prescrito en el Código de sistemas de seguridad contra incendios. No obstante, en lugar de dichos sistemas, tras examinar la disposición del buque y su equipo la Administración podrá aceptar otras instalaciones fijas si éstas ofrecen una protección equivalente, de conformidad

con lo dispuesto en la regla 1/5. Las instalaciones fijas alternativas deberán cumplir las prescripciones del párrafo 8.1.2.

8.1.2. De conformidad con lo dispuesto en la regla 8.1.1, cuando la Administración acepte una instalación fija equivalente en lugar del sistema fijo en cubierta a base de espuma, dicha instalación podrá:

- .1 extinguir el fuego prendido en sustancias derramadas e impedir la ignición de los hidrocarburos derramados que todavía no estén ardiendo; y*
- .2 combatir incendios en tanques que hayan sufrido roturas”*

El sistema a base de espuma protegerá las siguientes zonas:

- Domos de los tanques
- Manifolds
- Válvulas de control
- Superestructuras
- Casetas
- Cubierta principal
- Caseta de compresores

Medios de extinción en la habilitación

En la habilitación, además de los extintores portátiles, contaremos con un sistema de rociadores automáticos.

EL sistema de será del tipo “tubería llena “y estará siempre llena de agua dulce y mantenida a presión mediante un tanque. Instalaremos una bomba centrífuga independiente del resto de bombas contraincendios, destinada a mantener automáticamente la descarga continua de agua en los rociadores a la presión requerida , de modo que aseguro un suministro capaz de cubrir el área estipulada a un régimen de aplicación de 5 l/min·m².

Sistema de aspersión por agua

Por exigencia del código CIG (11.3), debemos instalar un sistema de aspersión por agua en cubierta, con el objetivo de refrigerarla.

El sistema tendrá la capacidad necesaria para cubrir todas las zonas mencionadas en 11.3.1 con una aspersión mínima de agua uniformemente distribuida de 10 l/m² por minuto para superficies de proyección horizontal y de 4 l/m² por minuto para las superficies verticales.

“11.3.1 En los buques que transporten productos inflamables o tóxicos, o unos y otros, se instalará un sistema aspersor de agua a fines de enfriamiento, prevención de incendios y protección de la tripulación, el cual abarcará:

- .1 Las bóvedas de los tanques de carga expuestos y cualquier parte expuesta de dichos tanques;*
- .2 los recipientes de almacenamiento expuestos, situados en cubierta y destinados a productos inflamables o tóxicos;*
- .3 los colectores de descarga y de carga de productos líquidos y gaseosos, la zona de sus válvulas de control y cualesquiera otras zonas en que haya instaladas válvulas de control esenciales y que serán por lo menos iguales al área de las bandejas de goteo provistas; y*
- .4 los mamparos límite de las superestructuras y de las casetas en que habitualmente haya dotación, de las cámaras de compresores de la carga, de las cámaras de bombas de la carga, de los pañoles en los que haya artículos que presenten gran riesgo de incendio y de las cámaras de control de la carga, encarados con la zona de carga. Los mamparos límite de estructuras del castillo de proa sin dotación en los que*

no haya artículos o equipo que presenten gran riesgo de incendio no necesitarán estar protegidos por el sistema aspersor de agua

6-SERVICIO DE LASTRE

En el cuaderno 4 ya definimos nuestros tanques de lastre, por lo que la capacidad de los mismos ya ha quedado determinada.

Hemos establecido tanques de lastre en doble fondo y doble casco de zona de carga, los piques de proa y popa y los cofferdams.

El circuito de lastre será independiente de los de carga, combustible y aceite.

El volumen total de los tanques de lastre (cuaderno 5) es:

$$V_{T.LASTRE} = 59.089,514 \text{ m}^3$$

Bombas de lastre

Dispondremos de tres bombas de lastre (una de respeto) en el buque, en el local de bombas de la cámara de máquinas. De esta forma, cumplimos con el DNV Pt 4 Ch 6 Sec 4, que nos exige llevar dos bombas, aunque una puede ser común a otro servicio.

Las bombas de lastre serán bombas centrífugas.

Caudal de las bombas de lastre

Para el tiempo de lastrado y deslastrado tomaremos 24 horas, por tanto, tendremos:

$$Q = \frac{V_{LASTRE}}{t} = 2.462,06 \text{ m}^3/h$$

Potencia de las bombas de lastre

Podemos calcular la potencia de las bombas de lastre con la siguiente expresión:

$$P = \frac{Q_b \cdot \gamma \cdot H}{3600 \cdot 75 \cdot \eta} = 230,07 \text{ CV} = 169,33 \text{ kW}$$

Donde:

P: potencia eléctrica de la bomba (CV).

Q_b: caudal de la bomba (1231,03 m³/h)

γ: peso específico del agua salada (1025 kg/m³)

H: incremento de presión, en este caso se tomará la altura del puntal más un cierto margen por pérdidas en las tuberías (32 m.c.a.)

η: rendimiento de la bomba (0,65)

Diámetro del colector de lastre

El diámetro de la tubería de lastre lo calculamos una vez conocido el caudal del mismo. La velocidad del agua en dicho conducto será de 6 m/s.

$$Q = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot v \rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = 0,14512 \approx 146 \text{ mm}$$

Donde:

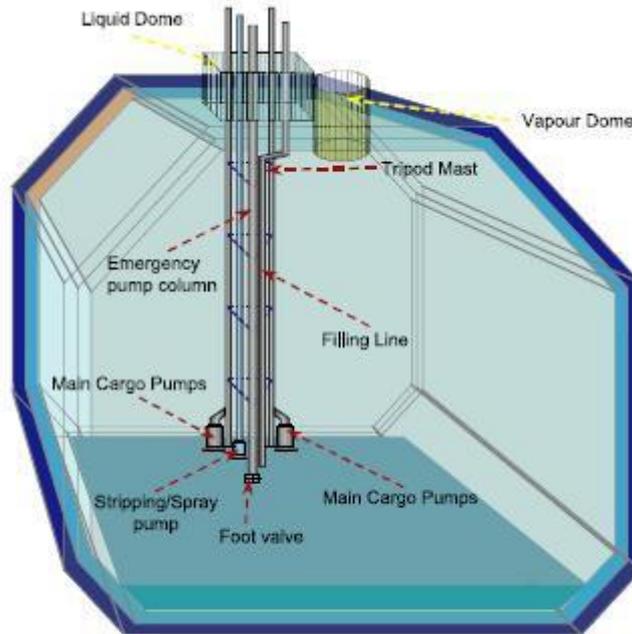
Q: caudal de lastre (2.462,06 m³/h)

v: velocidad en el conducto (6 m/s · 3600)

7-SISTEMAS DE CARGA/DESCARGA

El sistema de carga y descarga lo vamos a diseñar de manera que la operación carga/descarga pueda realizarse en un tiempo de 12 horas.

A continuación podemos ver un esquema de cómo es el interior de los tanques y los equipos y accesorios de carga y descarga:



Bombas de carga/descarga

A continuación vamos a proceder a dimensionar las bombas de carga y descarga

Cálculo del caudal de las bombas de carga/descarga

Hemos decidido instalar dos bombas sumergidas en cada uno de los tanques. Las ocho bombas instaladas serán iguales, y nos basaremos para dimensionarlas en los tanques de mayor capacidad (3 y 4). Las bombas de carga serán de tipo centrífugo.

$$Q = \frac{V_{\text{Tanque 2}}}{t} = 3.505,17 \text{ m}^3/\text{h}$$

Donde:

$V_{\text{Tanque 2}}$: volumen del tanque 2 de carga (42.062,111 m³)

t: 12 horas

Cálculo de la potencia de las bombas de carga/descarga

La potencia de las bombas la calcularemos mediante la siguiente expresión:

$$P = \frac{Q_b \cdot \gamma \cdot H}{3600 \cdot 75 \cdot \eta} = 101,07 \text{ CV} = 74,38 \text{ kW}$$

Donde:

P: potencia eléctrica de la bomba (CV).

Q_b : caudal de la bomba (1.752,58 m³/h)

γ : peso específico del agua salada (430 kg/m³)

H: incremento de presión, en este caso se tomará la altura del tanque (28,968 m.)

η : rendimiento de la bomba (0,8)

8-EQUIPOS PARA LA NAVEGACIÓN Y COMUNICACIONES

El buque dispondrá de una serie de equipos necesarios para la navegación y las comunicaciones externas.

Equipos de navegación

Puente integrado que incorpora:

-3 radares de banda X, situados en el puente de gobierno:

-2 dispondrán de un radar de movimiento relativo para banda X de 25 KW

-1 dispondrá de un radar de movimiento relativo para banda X de 35 KW.

-Tendrá una capacidad de adquisición de hasta 20 blancos automáticos y hasta 40 de forma manual.

-Sistema automático de navegación y carta electrónica (ECDIS)

- Dispositivos de mando y alarma:

- 3 monitores (informan, de la profundidad, la dirección y velocidad real del viento, detalles del ángulo del timón, etc.)

-Sistema de piloto automático:

4 posibilidades para gobernar el buque:

- Trackpilot

- Piloto automático

- Rueda del timón

- NFU

-Giroscópica

-Sistema indicador del ángulo del timón

-Compás magnético

Equipos para comunicaciones externas

Cumplirán los reglamentos del GMDSS.

El sistema de radiocomunicaciones cumple con la normativa IMO-SOLAS-GMDSS.

Los equipos de radio comunicaciones irán en una consola metálica, montada en el puente de gobierno, con los paneles necesarios, etc.

-GMDSS y sistemas de comunicación

-Un transmisor MF/HF

-Un transmisor VHF

-Sistema Inmarsat B

-Sistema Inmarsat C

-Sistema de llamada de auxilio (DMC)

-Sistema de radio UHF

-Radios portátiles de emergencia VHF

-Electronic Position Indicating Radio Beacon (EPIRB) y transmisor de búsqueda y rescate (SART)

-Un receptor de mensajes servicio NAVTEX

Equipos para comunicaciones internas

Para cumplir con SOLAS, Capítulo IV, Parte C, tendremos en el buque los siguientes equipos:

-Sistema automático de teléfono

-Situados en el puente, máquinas, salón de oficiales, comedor de oficiales, camarote del capitán y camarote del jefe de máquinas.

-Sistema de teléfonos autónomos

-Instalados para satisfacer las necesidades de comunicaciones en caso de emergencia a bordo, entre posiciones vitales en el buque en los casos de fallo de suministro de energía o de fallo del sistema de telecomunicación primario

-Sistema de megafonía y equipo para maniobra:

-Sistema de megafonía en: alerones del puente, tanto a babor como a estribor.

-Estación de control de fuego.

-Altavoces portátiles a proa y popa de la zona de maniobra

9-SISTEMA DE VENTILACIÓN EN CÁMARA DE MÁQUINAS

A continuación se procede al cálculo del flujo de aire necesario para la ventilación de la cámara de máquinas. Se utiliza como guía la norma UNE-ENISO 8861.

Las condiciones de trabajo que se consideran adecuadas son de una temperatura entre 5 y 40 °C y una humedad relativa del 90 %.

Flujo de aire para la combustión de los motores generadores

Calculamos el flujo de aire necesario con la siguiente fórmula:

$$q_{dg} = \frac{m'}{\rho} = \frac{1 \cdot 30,1}{1,13} + \frac{2 \cdot 33,8}{1,13} = 86,46 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde:

q_{dg} : flujo de aire necesario para la combustión (m^3/s)

m' : consumo de aire (kg/s)

Motor	Potencia	Consumo de aire
16V50	15.20 0 kW	30,1 kg/s
18V50	17.10 0 kW	33,8 kg/s

ρ : densidad del aire ($1,13 \text{ kg}/\text{m}^3$)

Flujo de aire para la evacuación del calor emitido

El flujo de aire necesario para evacuar el calor generado por radiación de los elementos que están instalados en la cámara de máquinas se calcula mediante la fórmula:

$$q_h = \frac{\Phi_{dg} + \Phi_{el} + \Phi_o}{\rho \cdot c \cdot \Delta T} - 0,4 \cdot q_{dg} = \frac{4940 + 9880}{1,13 \cdot 1,01 \cdot 12,5} - 0,4 \cdot 86,46 = 1004,23 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde:

q_h : flujo de aire necesario (m^3/s)

Φ_{dg} : emisión de calor del generador (es) (kW)

Φ_{el} : emisión de calor de las instalaciones eléctricas (kW)

Φ_o : emisión de calor de otros componentes (kW)

q_{dp} : flujo de aire necesario para la combustión (m^3/s)

ρ : densidad del aire ($1,13 \text{ kg}/\text{m}^3$)

c : calor específico del aire ($1,01 \text{ kJ}/\text{kgK}$)

ΔT : aumento de temperatura en la cámara de máquinas (K)

Para realizar el cálculo de la emisión de calor de generador utilizamos la siguiente fórmula:

$$\Phi_{dg} = P_{dp} \cdot \frac{\Delta h_d}{100} = (2 \cdot 17100 + 1 \cdot 15200) \cdot 0,10 = 4.940 \text{ kW}$$

Donde:

P_{dp} : es la potencia normalizada de servicio de los motores generadores al máximo (kW)

Δh_d : es la pérdida de calor de los motores, en porcentaje

El cálculo de la emisión de calor de la instalación eléctrica se puede aproximar como el 20 % de la potencia total de la instalación eléctrica.

$$\Phi_{el} = P_{el} \cdot 0,20 = (2 \cdot 17100 + 1 \cdot 15200) \cdot 0,20 = 9.880 \text{ kW}$$

Donde:

Φ_{el} : emisión de calor de las instalaciones eléctricas (kW)

P_{el} : potencia de la instalación eléctrica (kW)

Flujo de aire total

El flujo de aire total (Q) es la suma del flujo de aire necesario para la combustión más el flujo de calor radiado:

$$Q = q_{dg} + q_h = 86,46 + 1004,23 = 1.090,69 \text{ m}^3/\text{s}$$

El flujo de aire total en m^3/h es:

$$Q = 1090,69 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 3.926.484 \text{ m}^3/\text{h}$$

Potencia de los ventiladores

La potencia total de los ventiladores que deberemos instalar en la cámara de máquinas es la siguiente:

$$P = \frac{Q \cdot p}{75 \cdot 3600 \cdot \eta} = 894,92 \text{ CV} = 658,66 \text{ kW}$$

Donde:

P: potencia total en CV

Q: flujo total de aire (3.926.484 m³/h)

p: presión (40 mm.ca)

η: rendimiento (0,65)

10-SERVICIO DE AIRE ACONDICIONADO

Nuestro buque dispondrá de un sistema de aire acondicionado para proporcionar unas mejores condiciones de trabajo y un mayor confort a la tripulación.

La OIT (Organización Internacional del Trabajo) recomienda en el artículo “R140 Recomendación sobre alojamiento de la tripulación (aire acondicionado) 1970” que todos los buques con un arqueado bruto igual o superior a 1000, deben estar provistos de aire acondicionado en la zona de habilitación. Este sistema estará en camarotes, oficinas, pasillos, enfermería, puente de gobierno...

El servicio aire acondicionado sirve para enfriar (control de temperatura), limpiar y circular el aire (control de pureza), controlando además su contenido de humedad en condiciones ideales lograr todo esto de manera simultánea, con lo que se crea un ambiente confortable y una sensación de bienestar para las personas.

El sistema de aire acondicionado permite suministrar aire caliente, frío o una mezcla de ambos. El aire caliente procede del intercambio de calor con el vapor que se genera a bordo mientras que el aire frío se genera en el evaporador de refrigerante R-134A del sistema.

Las temperaturas de diseño para las condiciones de verano e invierno son las dadas por el código “SNAME” y la norma UNE-EN ISO 7547, que podemos ver en el siguiente cuadro:

Verano	T ^a del bulbo seco aire exterior	35°C, 59 % HR
	T ^a del bulbo húmedo aire exterior	20°C
	T ^a del bulbo seco aire interior	25,5°, 50 % RH
	T ^a del bulbo húmedo aire interior	18,5°C
	T ^a del agua de mar	29,5°C
Invierno	T ^a del bulbo seco aire exterior	(-18°C)
	T ^a del bulbo seco aire interior	21°
	T ^a del agua de mar	(-2°C)

A bordo instalaremos un sistema de doble conducto. Permite un buen control de los espacios individuales, ya que cada local tiene un regulador de temperatura. Esta regulación se consigue mezclando aire de los dos conductos (por uno circula aire caliente y por otro aire frío).

11-SERVICIO DE CONTROL DE LA PROPULSIÓN

Los sistemas de mandos de las máquinas están recogidos en el SOLAS II – 1. Parte C, Regla 31

Para el motor propulsor, motores auxiliares, separadores, servicios de aire comprimido, etc. se instalarán los sistemas de seguridad exigidos por la Sociedad de Clasificación conforme a lo exigido para Cámara de Máquinas Desatendida o UMS, con sus siglas en el inglés.

El motor principal llevará control local, control remoto desde el puente de gobierno, control remoto desde la sala de control y los dispositivos de seguridad de parada automática por:

- Baja presión aceite M.P.
- Alta temperatura agua refrigeración
- Sobrevelocidad.
- Cualquier otra exigida por la Sociedad de Clasificación.
- Niebla en el cárter.

Sistema escrutador de gases de escape

Atenderá a las temperaturas de los cilindros y las turbos de entrada/salida.

El sistema escrutador tendrá lectura bajo demanda de temperatura media, temperatura individual y desviación sobre la media y producirá alarma por aumento de la temperatura en cada cilindro o turbo, por alto valor de la media, por máxima desviación positiva o negativa sobre la media.

Preverá canales individuales de tal modo que la cancelación de un cilindro o turbo no intervenga en el cálculo de la media.

Regulación automática viscosidad combustible fuel-oil

Mediante un viscosímetro electrónico se regulará automáticamente la viscosidad del combustible de entrada al motor y repetidor con indicación de la viscosidad se dispondrá en la sala de control.

Seguridades y mando de los motores

El motor principal se podrá arrancar y parar a distancia desde la cabina de control. En el mismo panel se dispondrá un pulsador de desbloqueo para el caso de haberse producido una parada automática. La parada por sobrevelocidad solo se podrá desbloquear localmente.

La estación principal de control deberá estar provista de medios para la transferencia de control desde una estación secundaria a la estación principal y bloquear cualquier orden no autorizada desde la estación secundaria.

Se dispondrá de parada de emergencia del M.P. en el puente de gobierno.

En la cabina de control y en el panel de los motores se dispondrá de una señalización de paro automático del motor. Esta señalización será la misma para cualquiera de las causas reseñadas anteriormente que producen la parada.

En el puente de gobierno se dispondrá de un pulsador luminoso de anulación de paradas automáticas, excepto por sobrevelocidad y niebla en el cárter. En la cabina de control se dispondrá una indicación luminosa de anulación de paradas automáticas.

12-EQUIPOS DE FONDA Y HOTEL

Cocina

En la cocina dispondremos de los siguientes equipos y accesorios:

- Un fregadero con servicio de agua dulce fría y caliente.
- Una mesa de trabajo
- Una cocina eléctrica
- Una freidora.
- Un tostador de pan.
- Una amasadora.

- Una peladora de patatas.
- Una cafetera eléctrica.
- Un molinillo-dosificador de café.
- Una picadora de carne.
- Dos lavavajillas.
- Una cortadora de fiambres.
- Cuatro frigoríficos de 500 l.

Los equipos eléctricos de este local utilizarán una tensión de 220 V/ 380 V, 50 Hz.

Gambuzas

En la cubierta principal, en la zona de habilitación (como podemos ver en los planos de disposición general del cuaderno 7) se disponen los espacios destinados a gambuza seca y gambuza refrigerada.

La gambuza seca dispondrá de:

- Estantes, alacenas, barras y ganchos para víveres.
- Un patatero.

La gambuza frigorífica constará de cuatro cámaras:

- Una cámara de carne a -25°C.
- Una cámara de pescado a -20°C.
- Una cámara de leche a 3°C
- Una cámara de verdura y fruta a 2°C.

Cada cámara tendrá su tipo de aislamiento y espesor, de acuerdo con el servicio. Se dispondrán indicadores de temperatura dentro y fuera del servicio

Equipo de lavandería

Para servicio del buque se dispondrá una lavandería constituida por los siguientes elementos:

- Un fregadero de acero inoxidable.
- Dos lavadoras.
- Dos secadoras de aire.
- 1 plancha

Este local dispondrá de agua dulce fría y caliente, así como de ganchos y tendederos.

13-EQUIPOS DE ELEVACIÓN Y MANTENIMIENTO

Equipos del taller de cámara de máquinas

El taller en cámara de máquinas contará con los siguientes equipos:

- Un torno eléctrico
- Un taladro vertical
- Una esmeriladora doble
- Un equipo de soldadura eléctrica
- Un equipo de corte y soldadura oxiacetilénica
- Un compresor de aire para servicios auxiliares

Grúas

Vamos a seleccionar los medios de elevación de nuestro en función de nuestro buque base:

2 grúas modelo GPH-500

Para el manejo de mangueras con capacidad para izar 12 t. a 24 m.

2 grúas de servicio del tipo GPS 320-1218

Capaces de elevar 12 t. a 18 metros

Ascensor

A bordo dispondremos de un ascensor con capacidad para seis personas (450 kg.), que dará servicio a la habitación y a la cámara de máquinas.

14-SERVICIO SANITARIO

En cuanto al servicio de agua dulce, en condiciones de operación normales no es necesario que contemos con un generador de la misma a bordo, puesto que en los tanques destinados a ese fin llevaremos una cantidad suficiente para nuestra autonomía, sin embargo, por seguridad, instalaremos un generador de agua dulce a mayores.

A la hora de calcular las necesidades de agua potable, seguiremos las normas UNE-EN ISO 15748-1 y UNE-EN ISO 15748-2 (Embarcaciones y tecnología marina. Suministrador de agua potable en buques y estructuras marinas).

Tabla A.1
Valores guía para el consumo de agua potable en litros por persona/cama y día

Tipo de buque		Grupo de personas embarcado	Consumo de agua cuando esté equipado con	
			sistema de aseos de gravedad	sistema de aseos de vacío
Buque de alta mar	Carguero	Tripulante/cama	220 l	175 l

Se considera un consumo diario de 175 l. por persona y día. Por lo tanto, el consumo de agua dulce del buque es:

$$\text{Consumo}_{AD} = 175 \cdot 35 \cdot 25 = 153.125 \text{ l.}$$

Teniendo en cuenta una permeabilidad del tanque de 0,97, la capacidad del tanque de agua dulce debe ser:

$$\text{Volumen}_{AD} = \frac{153.125}{1000} \cdot 1,03 = 157,72 \approx 158 \text{ m}^3.$$

Instalaremos dos tanques de agua dulce en el pique de popa centrados en crujía.

Bombas agua sanitaria fría

Instalaremos dos bombas centrífugas de 5 bar

Caudal

$$Q = \frac{N \cdot C \cdot 3600 \cdot 10^{-3}}{B} = 11,34 \text{ m}^3/\text{h}$$

Q: caudal de cada bomba (m³/h)

N: número de personas a bordo (35)

C: pico de consumo de agua dulce (0,09 l/seg.persona)

B: número de bombas funcionando simultáneamente (1)

Potencia

$$P = \frac{Q_b \cdot \gamma \cdot H}{3600 \cdot 75 \cdot \eta} = 3,23 \text{ CV} = 2,38 \text{ kW}$$

Donde:

P: potencia eléctrica de la bomba (CV).

Q_b : caudal de la bomba (11,34 m³/h)

γ : peso específico del agua dulce (1000 kg/m³)

H: incremento de presión, en este caso se tomará la altura del puntal más un cierto margen por pérdidas en las tuberías (50 m.c.a.)

η : rendimiento de la bomba (0,65)

Bombas agua sanitaria caliente

Instalaremos una bomba de agua sanitaria caliente de tipo centrífugo, con un caudal 2 m³/h y una presión de 2 bar.

Potencia

$$P = \frac{Q_b \cdot \gamma \cdot H}{3600 \cdot 75 \cdot \eta} = 0,228 \text{ CV} = 0,18 \text{ kW}$$

Donde:

P: potencia eléctrica de la bomba (CV).

Q_b : caudal de la bomba (2 m³/h)

γ : peso específico del agua dulce (1000 kg/m³)

H: incremento de presión, en este caso se tomará la altura del puntal más un cierto margen por pérdidas en las tuberías (20 m.c.a.)

η : rendimiento de la bomba (0,65)

Calentador de agua sanitaria

Instalaremos a bordo un calentador de agua caliente:

Volumen

$$V = \frac{C \cdot N \cdot (T_i - T_e)}{24(T_m - T_m)} = 14,58 \text{ litros}$$

V: volumen del calentador (litros)

N: número de personas a bordo (35)

C: pico de consumo de agua caliente (6 l/h·persona)

T_i : temperatura inicial del agua caliente (60°C)

T_e : temperatura de entrada en el calentador (10°C)

T_m : temperatura de la mezcla de agua en el calentador (40°C)

Potencia

$$Q = \frac{C \cdot c_e \cdot (T_m - T_e)}{860} = 0,21 \text{ kW}$$

Donde:

Q: potencia calorífica del calentador (kW)

C: pico de consumo de agua caliente (6 l/h·persona)

ce: calor específico del agua (1 kcal/kg·°C)

Te: temperatura de entrada en el calentador (10°C)

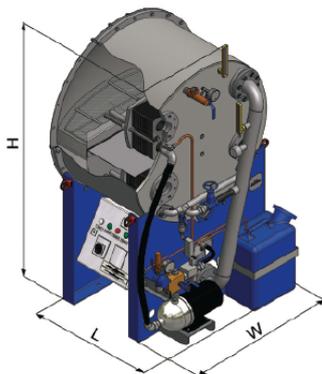
Tm: temperatura de la mezcla de agua en el calentador (40°C)

Generador de agua dulce

El buque dispone de un generador de agua dulce que permite obtener agua dulce con una pureza de 5 p.p.m a partir de un intercambiador de calor, el cual evapora el agua de mar para a continuación condensarla, de manera que las sales extraídas del agua por evaporación incrementan la salinidad del agua sacada por el eyector y descargada al mar.

El funcionamiento del generador es como el de un intercambiador de calor, de manera que el suministro de agua caliente se obtiene del circuito de refrigeración del motor. Esta agua caliente es introducida en el interior del generador donde se producirá un intercambio de calor con el agua de mar que hay en el interior.

El generador que hemos decidido instalar es el DN 65 de Wärtsilä. En la siguiente imagen podemos ver sus características:



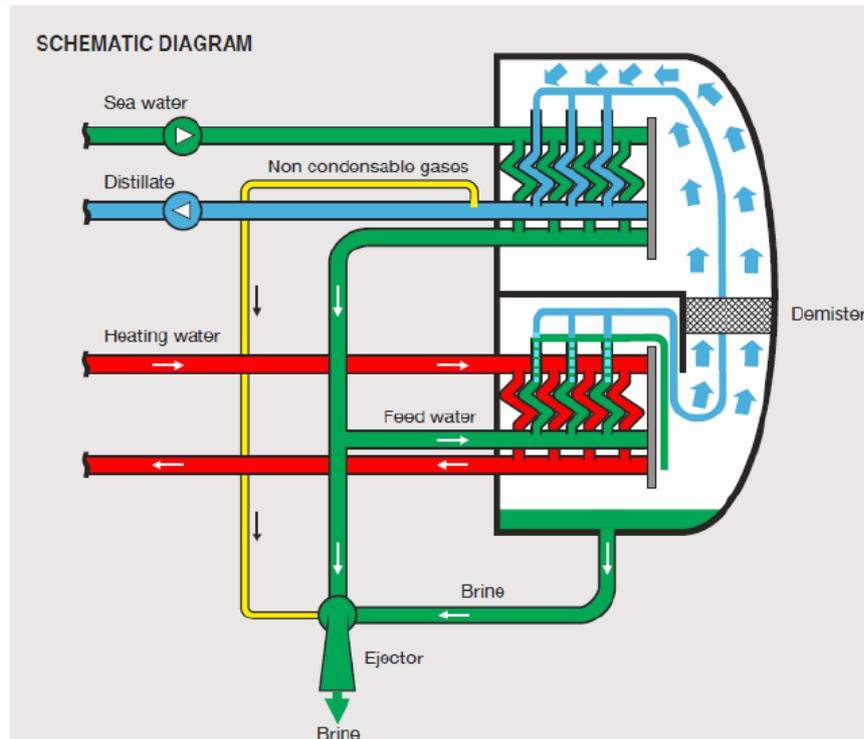
DIMENSIONS & TECHNICAL DATA

Model	Freshwater Generator				Seawater Pump		
	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)	Weight (kg)	Flow x Pressure (m³ x bar)	Weight (kg)	Elec. Consum (kW)
DN 65	1030	1100	1650	580 - 620	17 - 42 x 4	55	3.3 - 5.0
DN 80	1230	1100	1650	610 - 660	35 - 52 x 4	65	4.6 - 10.0

The flanges DN65 respectively DN80 refer to the inlet/outlet for the hot water and the inlet for the seawater. These connections are according to EN 1092-1 as standard.
The informed weights of the freshwater generators are in empty condition. Please add 10% to these weights to find the weight in operation condition. The control panel is included in weight and dimension for the freshwater generator.

Como ya hemos dicho, el generador utiliza el calor del agua de refrigeración de las camisas de los motores diesel generadores. Este calor es de 2.723 kW en los generadores 16V50DF y 3.120 kW en los generadores 18V50DF.

A continuación podemos ver un esquema del funcionamiento del generador:



A continuación podemos estimar la cantidad de agua que es capaz de producir el generador en base a una expresión dada por el fabricante:

The quantity of fresh water (FW) produced by a single-effect vacuum (flash) evaporator can be estimated for guidance purposes as follows:
FW produced in t/day = $32 \cdot 10^{-3} \cdot Q_{FW}$

$$FW = 32 \cdot 10^{-3} \cdot Q_{FW}(16V50DF) = 32 \cdot 10^{-3} \cdot 2723 = 87,13 \text{ t/día}$$

$$FW = 32 \cdot 10^{-3} \cdot Q_{FW}(16V50DF) = 32 \cdot 10^{-3} \cdot 3120 = 99,84 \text{ t/día}$$

Como podemos ver, ya sólo con un generador podríamos abastecer al buque de agua potable más que suficiente.

Descargas sanitarias y planta séptica

El diseño del sistema de desagüe se hará de acuerdo con las norma UNE-EN ISO 15749-1 a 14749-4.

La planta séptica consiste básicamente en un tanque donde se recogen, almacenan y tratan las aguas grises y negras que se generan en el buque durante la navegación.

Según la norma ISO anteriormente citada, se define:

“Aguas grises: aguas de desecho que deben evacuarse, con excepción de las aguas negras.”

–“*Aguas negras: aguas de desecho procedentes de retretes, urinarios y bidés, incluyendo aditivos; de zonas médicas (farmacia, hospital, etc.) y de lavabos, bañeras y descargas de agua de éstas áreas; de espacios en los que habitan animales vivos y de otros tipos de aguas de desecho, si se mezclan con las aguas contaminadas que se han mencionado.*” (Esta definición coincide con la de MARPOL)

La instalación de una planta séptica a bordo es un requerimiento exigido por el convenio MARPOL:

“*Todo buque estará equipado con un tanque de retención que tenga capacidad suficiente, a juicio de la Administración, para retener todas las aguas sucias, habida cuenta del servicio que presta el buque, el número de personas a bordo y otros factores pertinentes. El tanque de retención estará construido del modo que la Administración juzgue satisfactorio y estará dotado de medios para indicar visualmente la cantidad del contenido*”

Otro requerimiento de MARPOL es que tanto los buques como las instalaciones de recepción consten de unos conductos con conexión universal para que sea posible acoplarlos. Las dimensiones de las conexiones se muestran a continuación

Dimensionado universal de bridas para conexiones de descarga

Descripción	Dimensión
Diámetro exterior	210 mm
Diámetro interior	De acuerdo con el diámetro exterior del conducto
Diámetro de círculo de pernos	170 mm
Ranuras en la brida	4 agujeros de 18 mm de diámetro equidistantemente colocados en el círculo de pernos del diámetro citado y prolongados hasta la periferia de la brida por una ranura de 18 mm de ancho
Espesor de la brida	16 mm
Pernos y tuercas: cantidad y diámetro	4 de 16 mm de diámetro y de longitud adecuada
La brida estará proyectada para acoplar conductos de un diámetro interior máximo de 100 mm y será de acero u otro material equivalente con una cara plana. La brida y su empaquetadura se calcularán para una presión de servicio de 6 kg/cm ² .	

Imbornales y desagües

Se dispondrá de imbornales destinados a la descarga de agua de lluvia o de mar en la cubierta principal y en las superestructuras.

15-TRATAMIENTO DE BASURAS

El Anexo V del convenio MARPOL es el que regula la prevención de contaminación por las basuras de los buques.

En general, el Anexo prohíbe la descarga al mar de todas las basuras salvo las autorizadas de manera concisa y su ámbito de aplicación se extiende a todos los buques.

En dicho Anexo se define el término “basura” como:

“Por basuras se entiende toda clase de desechos de alimentos, desechos domésticos y operacionales, todos los plásticos, residuos de carga, cenizas de incinerador, aceite de cocina, artes de pescas y cadáveres de animales resultantes de las operaciones normales del buque”.

Zonas especiales

En el convenio MARPOL se define una serie de lugares geográficos como zonas especiales, que son:

“Por zona especial se entiende cualquier extensión de mar en la que, por razones técnicas reconocidas en relación con sus condiciones oceanográficas y ecológicas y el carácter particular de su tráfico marítimo, se hace necesario adoptar procedimientos especiales obligatorios para prevenir la contaminación del mar por las basuras.”

Las zonas especiales son:

- Zona del Mar Mediterráneo
- Zona del Mar Báltico
- Zona del Mar Negro
- Zona del Mar Rojo
- Zona de los Golfos
- Zona del Mar del Norte
- Zona del Antártico
- Zona del Gran Caribe

Descarga de basuras en zonas especiales

En las zonas especiales sólo se permitirá la descarga de las basuras siguientes en el mar mientras el buque esté en ruta y tal como se indica a continuación:

-Descarga al mar de desechos de alimentos tan lejos como sea posible de la tierra más próxima, pero no a menos de 12 millas marinas de la tierra más próxima o de la plataforma de hielo más próxima.

-Descarga de residuos de carga que no pueden recuperarse mediante los métodos normalmente disponibles de descarga cuando se satisfacen todas las condiciones siguientes:

-Los residuos de carga y los agentes y aditivos de limpieza contenidos en el agua de lavado de las bodegas no incluyen ninguna sustancia clasificada como perjudicial para el medio marino, teniendo en cuenta las directrices elaboradas por la Organización.

-Tanto el puerto de partida como el siguiente puerto de destino se encuentran dentro de la zona especial y el buque no va a salir de la zona especial entre esos dos puertos.

-En esos dos puertos no se dispone de instalaciones de recepción adecuadas teniendo en cuenta las directrices elaboradas por la Organización.

-Si se satisfacen las condiciones especificadas en los apartados anteriores del presente párrafo, la descarga del agua de lavado de las bodegas de carga que contenga residuos se efectuará tan lejos como sea posible de la tierra más próxima o la plataforma de hielo más próxima y a no menos de 12 millas marinas de la tierra más próxima o de la plataforma de hielo más próxima.

Descarga de basuras fuera de zonas especiales

“La descarga de las siguientes basuras en el mar fuera de las zonas especiales sólo se permitirá mientras el buque esté en ruta y tan lejos como sea posible de la tierra más próxima, pero en ningún caso a menos de:

-Tres millas marinas de la tierra más próxima en el caso de desechos de alimentos que se hayan pasado por un desmenuzador o triturador.

-Doce millas marinas de la tierra más próxima en el caso de desechos de alimentos que no se hayan tratado.

-Doce millas marinas de la tierra más próxima en el caso de residuos de carga que no puedan recuperarse mediante los métodos normalmente disponibles para su descarga.

-En el caso de cadáveres de animales, la descarga se efectuará tan lejos de la tierra más cercana como sea posible, teniendo en cuenta las directrices elaboradas por la Organización.”

Instalaciones a bordo y para la recepción de basuras

En cuanto a las instalaciones y los servicios de recepción de basuras, el Convenio asegura:

“Los Gobiernos de las Partes en el Convenio se comprometen a garantizar que en los puertos y terminales de recepción se establecerán instalaciones y servicios de recepción de basuras con capacidad adecuada para que los buques que las utilicen no tengan que sufrir demoras innecesarias.”

Por parte del buque:

“Todo buque de arqueo bruto igual o superior a 400 toneladas y todo buque que este´ autorizado a transportar 15 personas o más tendrá un plan de gestión de basuras que la tripulación deberá cumplir. Dicho plan incluirá procedimientos escritos para la recogida, el almacenamiento, el tratamiento y la evacuación de basuras, incluida la manera de utilizar el equipo de a bordo. También se designará en él a la persona encargada de su cumplimiento. Dicho plan se ajustará a las directrices que elabore la Organización y estará escrito en el idioma de trabajo de la tripulación.”

Además de esto, el buque llevará un Libro registro de basuras. Todas las operaciones de descarga o incineración se hayan llevado a cabo se anotarán en el

Libro y llevarán la firma del oficial encargado en la fecha en la que se realizó la incineración o descarga.

16-BALANCE DE VAPOR

A continuación vamos a realizar el cálculo de balance de vapor requerido para la calefacción de los siguientes sistemas:

- Tanques almacén de fuel oil.
- Tanques de sedimentación de fuel oil.
- Tanques de servicio diario de fuel oil.
- Tanques de diesel
- Tanques de aceite
- Tanque de lodos
- Calefacción de la habitación

Para el caso de buques de carga líquida se toman valores de vapor saturado de entre 7 y 20 bar. El valor elegido para este buque será de 7 bar, ya que no tenemos que calentar nada más que los tanques de fuel y servicios no relacionados con la carga. A esa presión se tiene una temperatura de vapor de 165°C, con un calor latente de vaporización de 494 kcal/kg.

Todos estos valores los sacamos de la siguiente tabla:

Presión	Temperatura de saturación	Volumen específico		Densidad vapor saturado y seco	Entalpía del líquido	Entalpía del vapor saturado y seco	Calor latente de vaporización
		Líquido	Vapor saturado				
Kg/cm ²	°C	Litro/kg	m ³ /kg	kg/m ³	kcal/kg	kcal/kg	kcal/kg
1,50	110,8	1,052	1,181	0,8467	110,99	643,1	532,1
2,00	119,6	1,060	0,9018	1,109	119,94	646,3	526,4
2,50	126,8	1,067	0,7318	1,367	127,2	648,7	521,5
3,00	132,9	1,073	0,6169	1,621	133,4	650,7	517,3
3,50	138,2	1,078	0,5338	1,873	138,9	652,4	513,5
4,00	142,9	1,083	0,4709	2,124	143,7	653,9	510,2
4,60	147,2	1,087	0,4215	2,373	148,1	655,2	507,1
5,00	151,1	1,092	0,3817	2,620	152,1	656,3	504,2
6,00	158,1	1,100	0,3213	3,111	159,3	658,3	498,9
7,00	164,2	1,107	0,2778	3,600	165,7	659,9	494,2
8,00	169,6	1,114	0,2448	4,085	171,4	661,2	489,8
9,00	174,5	1,120	0,2189	4,568	176,5	662,3	485,8

Para calcular el calor necesario tenemos que dividir este en dos partidas: el calor necesario para elevar la temperatura del fluido (Q₁) y el calor necesario para mantenerlo a esa temperatura (Q₂):

$$Q_1 = \frac{V \cdot \rho \cdot c_e \cdot (T_f - T_i)}{t}$$

Donde:

V: volumen del tanque (m³)

ρ: densidad el fluido contenido en el tanque (kg/m³)

c_e: calor específico de la carga (Kcal/kg·°C)

T_f: temperatura final del producto calefactado (°C)

T_i : temperatura inicial del producto antes de ser calefactado ($^{\circ}\text{C}$)

$$Q_2 = \sum k_i \cdot A_i \cdot (T_m - T_{ext})$$

Donde:

k: coeficiente de transmisión de calor de cada pared ($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}$)

A: área o superficie de intercambio de calor (m^2)

T_m : temperatura media en el tanque ($^{\circ}\text{C}$)

T_{ext} : temperatura en el exterior ($^{\circ}\text{C}$)

La cantidad de vapor necesaria la calcularemos con la siguiente fórmula:

$$C_v = \frac{Q_t}{h}$$

Donde:

C_v : cantidad de vapor en kg/h .

Q_t : potencia calorífica requerida en Kcal/h .

Rr: calor latente de vaporización ($494,2 \text{ kcal}/\text{kg}$)

En nuestros cálculos utilizaremos las siguientes temperaturas y coeficientes:

Medio	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	k ($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}$)
Mar	5	18
C.Máquinas	25	3
Bodega/Esp. Vacío	10	4
Lastre	10	5
Consumos	T^a final en tanque	4
Habilitación	20	3,5
Cubierta (aire ext.)	5	4,5

Calores específicos ($\text{kcal}/\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$)	
Fuel oil	0,441
Diesel oil	0,441
Aceite	0,501
Agua salada	0,942
Agua dulce	1
Aire	0,311
Gases de escape	0,25

En cuanto a los tanques objeto de estudio:

Tanque	Tª final en tanques (°C)	Tª inicial en tanques (°C)
FO UD	60	50
FO Sedimentación	50	40
FO Almacén	40	20
Diesel	30	20
Aceite	80	20
Lodos	40	20

A continuación procedemos a realizar los cálculos:

Tanques FO UD

$$Q_1 = 2 \cdot \frac{V \cdot \rho \cdot c_e \cdot (T_f - T_i)}{t} = 66033,041 \text{ kcal/h}$$

Donde:

V: volumen del tanque de FO UD (99,380 m³)

t: 12 horas.

TANQUES FO UD						
Mamparo	Área	Medio	k (kcal/m²·°C·h)	Text (°C)	Tm-Text (°C)	Q₂ (kcal/h)
Superior	12,96	Cubierta superior	4,5	5	55	3207,6
1 Transversal	12,96	Cám. Máquinas	3	25	35	1360,8
2 Transversal	12,96	Cofferdam 5	4	10	50	2592
1 Longitudinal	64	T. Sedim. FO	4	50	10	2560
2 Longitudinal	64	T. FO UD	4	60	0	0
Fondo	12,96	Cám. Máquinas	3	25	35	1360,8
					TOTAL	11081,2
					TOTAL (2 Tanques)	22162,4

$$C_v = 178,46 \text{ kg/h}$$

Tanques FO Sedimentación

$$Q_1 = 2 \cdot \frac{V \cdot \rho \cdot c_e \cdot (T_f - T_i)}{t} = 100615,67 \text{ kcal/h}$$

Donde:

V: volumen del tanque de sedimentación (151,427 m³)

t: 12 horas.

TANQUES FO SEDIMENTACIÓN						
Mamparo	Área	Medio	k (kcal/m ² ·°C·h)	Text (°C)	Tm-Text (°C)	Q ₂ (kcal/h)
Superior	19,6	Cubierta superior	4,5	5	45	3969
Transversal 1	19,6	Cám. Máquinas	3	25	25	1470
Transversal 2	19,6	Cofferda m 5	4	10	40	3136
Longitudinal 1	64	T. Diesel	4	30	20	5120
Longitudinal 2	64	T. FO UD	4	60	-10	-2560
Fondo	19,6	Cám. Máquinas	3	25	25	1470
					TOTAL	12605
					TOTAL (2 Tanques)	25210

$$C_v = 254,60 \text{ kg/h}$$

Tanques FO Almacén

$$Q_1 = 2 \cdot \frac{V \cdot \rho \cdot c_e \cdot (T_f - T_i)}{t} = 1138871,29 \text{ kcal/h}$$

Donde:

V: volumen del tanque de almacén (3.428,012 m³)

t: 48 horas.

TANQUES FO ALMACÉN						
Mamparo	Área	Medio	k (kcal/m ² ·°C·h)	Text (°C)	Tm-Text (°C)	Q ₂ (kcal/h)
Superior	205,03	Bodega	4	10	30	24603,6
Transversal 1	331,37	Cofferdam 1	5	10	30	49705,5
Transversal 2	263,86	Bodega	4	10	30	31663,2
Longitudinal 1	64	T. Almacén FO	4	40	0	0
Longitudinal 2	64	Bodega	4	10	30	7680
Fondo	205,03	Doble fono	4	10	30	24603,6
					TOTAL	138255,9
					TOTAL (2 Tanques)	276511,8

$$C_v = 2863,98 \text{ kg/h}$$

Tanques de Diesel

$$Q_1 = 2 \cdot \frac{V \cdot \rho \cdot c_e \cdot (T_f - T_i)}{t} = 282089,39 \text{ kcal/h}$$

Donde:

V: volumen del tanque de diesel (426,439 m³)

t: 12 horas.

TANQUES DE DIESEL						
Mamparo	Área	Medio	k (kcal/m ² ·°C·h)	Text (°C)	Tm-Text (°C)	Q ₂ (kcal/h)
Superior	54,62	Cubierta superior	4,5	5	25	6144,75
1 Transversal	54,62	Cám. Máquinas	3	25	5	819,3
2 Transversal	54,62	Cofferdam 5	4	10	20	4369,6
1 Longitudinal	64	Cám. Máquinas	3	25	5	960
2 Longitudinal	64	T. Sedim. FO	4	50	-20	-5120
Fondo	54,62	Cám. Máquinas	3	25	5	819,3
TOTAL						7992,95
TOTAL (2 Tanques)						15985,9

$$C_v = 603,14 \text{ kg/h}$$

Tanques de Aceite

$$Q_1 = 2 \cdot \frac{V \cdot \rho \cdot c_e \cdot (T_f - T_i)}{t} = 373370,258 \text{ kcal/h}$$

V: volumen del tanque de aceite (54,908 m³)

t: 8 horas

Donde:

TANQUES DE ACEITE						
Mamparo	Área	Medio	k (kcal/m ² ·°C·h)	Text (°C)	Tm-Text (°C)	Q ₂ (kcal/h)
Superior	22,64	Cám. Máquinas	3	25	55	3735,6
Transversal 1	14,15	Aguas grises	5	10	70	4952,5
Transversal 2	14,15	Cofferdam 5	4	10	70	3962
Longitudinal 1	64	Espacio vacío	4	10	70	17920
Longitudinal 2	64	Espacio	4	10	70	17920

		vacío					
Fondo	22,64	Mar	18	5	75	30564	
						TOTAL	79054,1
						TOTAL (2 Tanques)	158108,2

$$C_v = 1075,43 \text{ kg/h}$$

Tanque de Lodos

$$Q_1 = \frac{V \cdot \rho \cdot c_e \cdot (T_f - T_i)}{t} = 110857,5 \text{ kcal/h}$$

Donde:

V: volumen del tanque de lodos (73,905 m³)

t: 12 horas.

TANQUE DE LODOS							
Mamparo	Área	Medio	k (kcal/m ² ·°C·h)	Text (°C)	Tm-Text (°C)	Q ₂ (kcal/h)	
Superior	29,6	Cám. Máquinas	3	25	15	1332	
Transversal 1	23,125	Espacio vacío	4	10	30	2775	
Transversal 2	23,125	T. Aguas grises	5	10	30	3468,75	
Longitudinal 1	64	Espacio vacío	4	10	30	7680	
Longitudinal 2	64	Espacio vacío	4	10	30	7680	
Fondo	29,6	Mar	18	5	35	18648	
						TOTAL	41583,75

$$C_v = 308,46 \text{ kg/h}$$

Calefacción para la habilitación

Calcularemos las necesidades de calefacción para la habilitación mediante la siguiente expresión:

$$C_v = \frac{(3,23 \cdot A + 2,12 \cdot V) \cdot (T_{int} - T_{ext})}{1160} = 701,02 \text{ kg/h}$$

A: área total de la superficie de todos los locales a calentar (m²)

V: volumen total de todos los locales a calentar (m³)

Tint: temperatura interior de los locales (20°C)

Text: suponemos una situación desfavorable (-10°C)

Los datos de las áreas y los volúmenes de la habilitación los podemos ver en el siguiente cuadro:

Cubiertas	Áreas	Volúmenes
26,3	456,142	1368,426
A	456,142	1664,9183
B	418,176	1212,7104
C	418,176	1327,7088
D	418,176	1212,7104
E	418,176	1327,7088
Puente	163,9	483,505
TOTAL	2748,888	8597,6877

Total balance térmico:

		Navegación		Puerto	
Servicio	Cv	k	Cv	k	Cv
Tanques FO UD	178,46	1	178,46	0,5	89,23
Tanques FO Sed	254,6	0,5	127,3	0,5	63,65
Tanques FO Almacén	2863,98	0,3	859,194	0	0
Tanques Diesel	603,14	1	603,14	0,5	301,57
Tanques Aceite	1075,43	1	1075,43	0,5	537,715
Tanque de lodos	308,46	1	308,46	0,6	185,076
Calefacción	701,02	0,7	490,714	0,5	245,357
TOTAL			3642,698		1422,598

Hemos multiplicado las necesidades de vapor por unos coeficientes "k". Éstos representan una especie de grado de simultaneidad en la demanda.

A continuación vamos a calcular la capacidad de generación de vapor utilizando los gases de escape de los motores diesel.

En condiciones normales de operación estarán funcionando tres de los cuatro diesel generadores instalados a bordo.

Si consultamos la guía de los motores tenemos los siguientes caudales:

-Motor 18V50 (26,8 kg/s · 3600 s/h = 96480 kg/h)

-Motor 16V50 (23,9 kg/s · 3600 s/h = 86040 kg/h)

$$C_v = m_{exh} \cdot c_e \cdot (T_e - T_s) \cdot 0,97 \cdot \frac{1}{h_v - h_l} = 18.416,75 \text{ kg/h}$$

Donde:

m_{exh}: caudal de los gases de escape (96480·2 + 86040 = 279720 kg/h)

c_e: calor específico (0,254 kcal/kg·°C)

T_e: temperatura de los gases de escape en la entrada (351°C)

T_s: temperatura de los gases de escape en la salida (180°C)

h_v: entalpía del vapor a 7 bar (659,9 kcal/kg)

h_l: entalpía del agua a la entrada (20 kcal/kg)

Como vemos, tenemos capacidad más que de sobra con los gases de exhaustación para generar el vapor necesario.

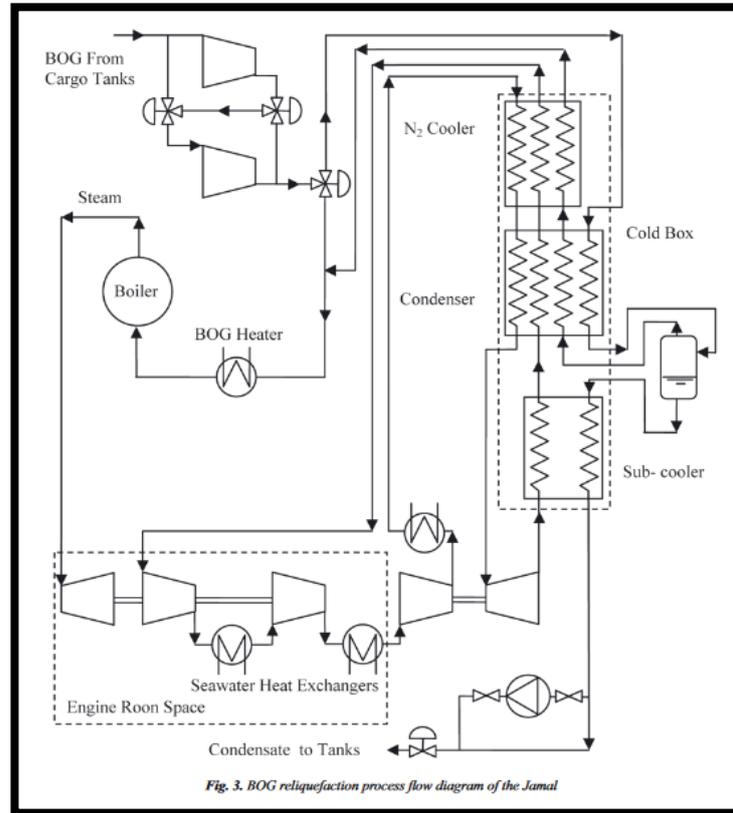
Cuando estemos en puerto se podría utilizar una caldera que consuma combustible.

17-PLANTA DE RELICUEFACCIÓN

El gas que se evapora de los tanques de carga (boil-off) se va a tratar para relicuarlo y poder así reenviarlo a los espacios de carga. Gracias a este proceso de relicuefacción no consumimos ni desechamos parte de la carga.

A continuación vamos a ver un esquema de la planta de relicuefacción y explicación de la misma.

En la siguiente imagen podemos ver un esquema de la planta de relicuefacción en la que nos basamos (buque Jamal, anexo).



Ventajas de la relicuefacción:

- Incremento de la cantidad de carga entregada. Todo el LNG cargado puede ser entregado al cliente.
- Gran ahorro en la cantidad total de gas consumido.
- Nivel de inversión competitivo
- El sistema se puede detener cuando las bombas de carga están operativas.
- No se necesita personal extra para su mantenimiento y operación.

Las plantas de relicuefacción de LNG se basan en un ciclo cerrado de expansión de nitrógeno que retira calor del Boil-Off Gas.

El proceso de relicuefacción se lleva a cabo mediante la condensación del BOG a una presión de 4.5 bar, con nitrógeno y siguiente un ciclo Brayton.

De esta forma el BOG se licúa a una temperatura óptima con una fracción de vapor muy pequeña, principalmente compuesta por burbujas de nitrógeno que se irá purgando del tanque de LNG durante la operación.

El objetivo de la purga de nitrógeno es evitar el consumo de potencia que produciría el licuar el nitrógeno, ya que se lleva a cabo a temperaturas más bajas. Otra ventaja de la purga de nitrógeno es que así se incrementa el punto de ebullición del gas, lo que conlleva una reducción del BOG.

La planta está diseñada para un control automático de la capacidad de relicuefacción del 40 al 100% con la máxima eficiencia.

El sistema se compone básicamente de tres partes:

- Ciclo de carga
- Ciclo de nitrógeno

-Sistemas auxiliares

La planta de relicuación está dispuesta como una unidad modular integrada en la sala de manipulación de la carga.

Dimensionamiento

Para dimensionar la planta de relicuefacción tendremos en cuenta lo siguiente:

Partimos de un volumen de carga de 145.000 m³. La evaporación del boil-off se estima entre 0,10 – 0,15 % de la carga al día. Consideraremos un 0,135 %, La densidad del LNG es 0,43 t/m³. Así, podemos estimar la cantidad de gas que puede relicuarse por día en toneladas.

$$145.000 \text{ m}^3 \cdot 0,135 \% \cdot 0,43 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \approx 81 \text{ t.}$$

A continuación calculamos los kg/h.

$$\frac{85 \text{ t.}}{24 \text{ h.}} = 3,54 \frac{\text{t}}{\text{h}} = 3.540 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Se considerará que un 90 % puede retornar al tanque y el 10 % se pierde durante el proceso.

$$0,90 \cdot 3.540 = 3.186 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

El consumo estimado de una planta de relicuefacción para un buque similar a nuestras características es de 3 MW (anexo, Jamal).

18-SISTEMAS PROPIOS DE ESTE BUQUE

Sistema de contención de la carga

El sistema de contención de la carga se dispondrá en cuatro tanques totalmente integrados dentro del casco.

El código CIG establece la siguiente definición:

4.2.2.1 Son tanques de membrana los que carecen de sustentación propia y están formados por una delgada capa (la membrana) a la que, a través del aislamiento, da soporte la estructura adyacente del casco. La membrana ha sido proyectada de modo que las dilataciones y contracciones térmicas y de otra índole queden compensadas sin que esto le imponga un esfuerzo excesivo.

Nuestro sistema de contención responderá a la patente de Gaztransport and Technigaz (GTT), y en concreto elegimos el sistema MARK III. Este sistema maximiza el espacio de carga porque no hay espacio vacío, en comparación con otros sistemas como tanques esféricos. El sistema GTT se constituye como un forro criogénico soportado por el doble casco del buque. EL forro incluye dos membranas metálicas que actúan como barreras LNG duales y dos capas de aislamiento independientes. Las membranas metálicas están hechas de una aleación de níquel y acero, que ofrecen excelentes características de expansión y contracción térmica, lo que hace este material sea muy apropiado para las bajas temperaturas en la zona de carga (-163°C). El sistema de aislamiento se basa en una silicona expandida con tratamiento perlítico.

El buque de proyecto tendrá cuatro tanques de carga de sección octogonal separados entre sí por cofferdams que pueden ser empleados como tanques de lastre según las necesidades del buque.

El sistema integrado de contención MARK III está formado por las siguientes capas:

Primaria de acero inoxidable

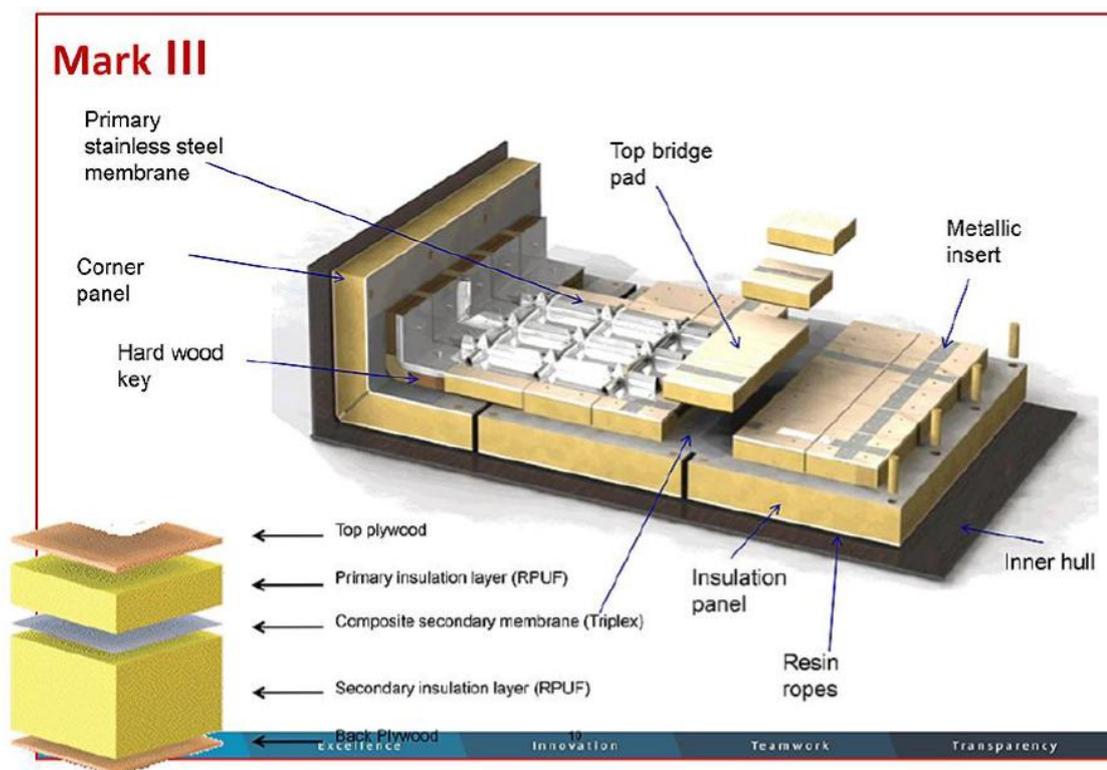
La membrana primaria está hecha de acero inoxidable corrugado 304 L, de 1,2 mm de espesor. Contiene la carga de GNL y se apoya y se fija directamente al sistema de aislamiento. El tamaño estándar de las láminas corrugadas es de 3m x 1m .

Triplex secundaria

La membrana secundaria está hecha de un material laminado compuesto por: una hoja delgada de aluminio entre dos capas de tela de vidrio y resina. Se coloca en el interior de los paneles de aislamiento prefabricados entre las dos capas de aislamiento.

Aislamiento

El aislamiento consiste en un sistema de soporte de carga de paneles prefabricados en espuma de poliuretano reforzada, incluyendo ambas capas de aislamiento primaria y secundaria y la membrana secundaria. El tamaño estándar de los paneles es de 3 x1 metros. El espesor del aislamiento es ajustable: desde 250 mm a 350 mm para cumplir cualquier requisito de boil-off. Los paneles están unidos al casco interior por medio de cuerdas de resina que tienen un propósito doble: anclar el aislamiento y repartir las cargas uniformemente.



Este sistema de doble membrana establece dos barreras para prevenir un escape de carga. Esta disposición permite que todos los esfuerzos sean transmitidos a través de las membranas y aislamientos a las planchas del casco interno del buque.

El aislamiento está dividido en dos áreas específicas:

Área reforzada

Localizada en la parte superior del tanque y formada por cajas reforzadas. Alcanza aproximadamente un 30% de la altura total. Presenta refuerzos mayores para resistir los impactos del líquido en los costados del tanque (sloshing).

Área estándar

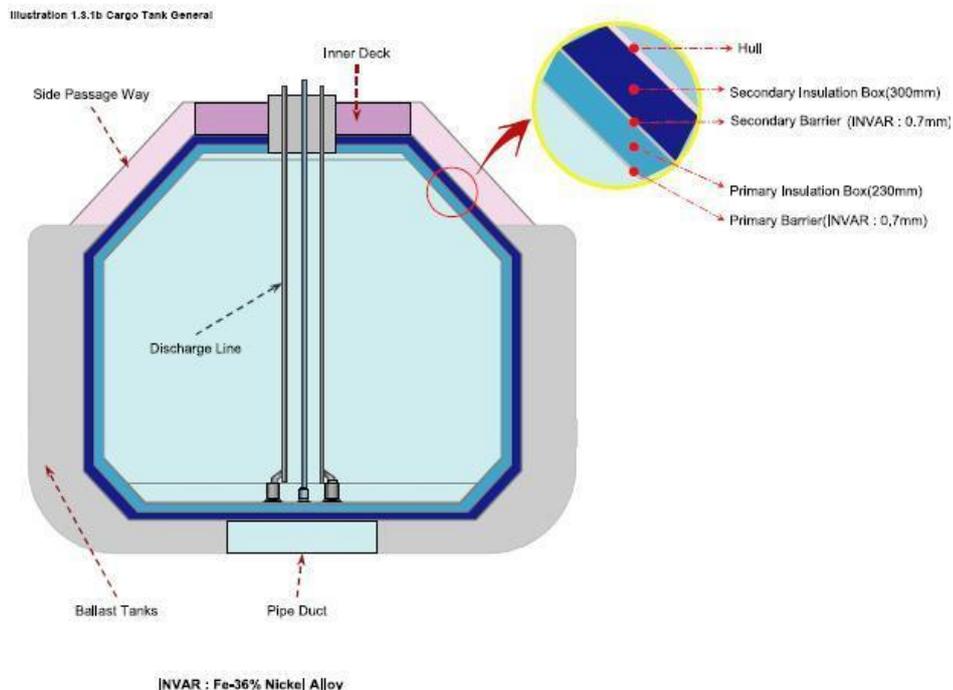
Compuesta por cajas normales, está distribuida en el 70% de la altura restante del tanque.

El sistema de aislamiento está diseñado para mantener las pérdidas debidas a la vaporización natural de la carga (boil-off) dentro de unos límites aceptables, y para proteger el acero del casco interior del buque de los efectos de una temperatura excesivamente baja. En caso de que la eficacia del aislamiento se viera deteriorada por cualquier causa, el efecto sería un descenso de la temperatura del casco interior del buque y un incremento del boil-off en el tanque afectado.

El CIG nos define las funciones que ha de cumplir tanto la barrera secundaria como la primaria:

1.3.30.1 Barrera primaria: elemento interior proyectado de modo que contenga la carga cuando el sistema de contención de ésta comprenda dos mamparos límite.

1.2.30.2 Barrera secundaria: elemento exterior de un sistema de contención de la carga, resistente a los líquidos, proyectado de modo que contenga temporalmente toda fuga previsible de carga líquida más allá de la barrera primaria y evite que la temperatura del buque descienda a un punto que encierre el peligro.



19-BIBLIOGRAFÍA

-“Normas prácticas para el diseño de chigres de carga y maniobra”, Juan Carral Couce y Luis Carral Couce; Revista Ingeniería Naval, junio de 1999).

-“Normas prácticas para el diseño de molinetes de ancla”, Juan Carral Couce y Luis Carral Couce; Revista Ingeniería Naval, mayo de 1999).

-SOLAS

-DNV

-MARPOL

-CIG

-Apuntes asignatura de “Ingeniería de sistemas navales y oceánicos”, José Ángel Fraguera Formoso; Escola Politécnica Superior de Ferrol

-Apuntes asignatura de “Ingeniería de sistemas navales y oceánicos”, Luis Carral Couce; Escola Politécnica Superior de Ferrol

ANEXO I

Planta de relicuefacci3n Jamal

4. OUTLINE OF THE DESIGN

4.1 Major Specifications

The main specifications of the reliquefaction system are listed in the Table.4. The rated liquefaction capacity is approximately 3 t/h, which was determined by subtracting the design margin of BOR calculated from the operating data of conventional LNG carriers from the cargo tank heat insulation design value (BOR = 0.14%/day). The cryogenic energy produced by the expansion of N₂, with its pressure reducing from 3.5 MPaA to approximately 0.65 MPaA, is used to liquefy the BOG. The turn-down performance was set to 1 t/h, which is equivalent to approximately 30% of the control capacity of the control valve and other devices. The cooling water flow rate in the intermediate cooler is 300 m³/h.

Table.4 Major Specification

Design Capacity	3 t/h
Min. Capacity	1 t/h
Power Consumption	3,000 kW

Table.5 Design Condition

BOG Composition	CH ₄	Min.94 mol%
	N ₂	Max. 6 mol%
BOG Temperature (Laden Voyage)		-120°C
BOG Temperature (Ballast Voyage)		Max. -70°C
Atmospheric Temperature		45°C
Cooling Water Temperature		37°C

The design conditions are shown in the Table.5. The maximum N₂ component in BOG was estimated to be 6% based on the composition of LNG supplied by the Oman Project. During a laden voyage, the BOG temperature is expected to rise to -120°C due to the heat inleak into the pipe between the tank and reliquefaction equipment.

4.2 Composite Devices

The two electric centrifugal single-stage compressors feed BOG to the reliquefaction plant or boiler. When feeding BOG to the reliquefaction plant, the two units are connected in series and operate in the Tandem Mode to increase the BOG pressure to 450 kPaA, or in the Single Mode in which only one unit operates. The rated liquefaction capacity of 3 t/h is achieved in the Tandem Mode, in which the BOG liquefaction pressure is higher. When feeding BOG to the boiler, the Single Mode is used, as is done on conventional LNG carriers.

The brazed-aluminum plate-fin type heat exchanger consists of three units: the N₂ Cooler that pre-cools the N₂, the BOG Condenser that liquefies the BOG, and the LNG Subcooler that supercools LNG prior to returning it to the tank. This three-part heat exchanger and expander are contained in a cold box measuring 3.6 m in width, 2.0 m in depth, and 6.8 m in height.



Fig.7 Cold Box